

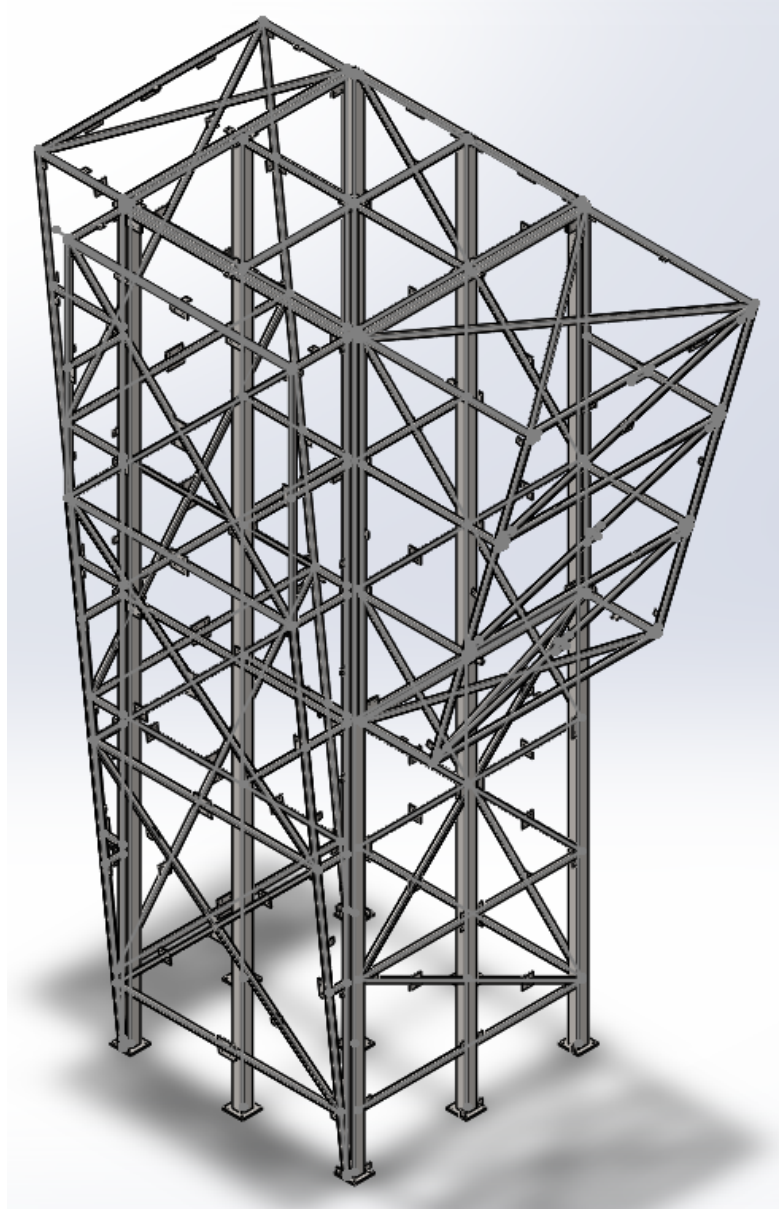


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria
de Manresa



DISSENY I CÀLCUL ESTRUCTURAL D'UN ROCÒDROM



Enginyeria Mecànica

14 d'Octubre del 2016

Jordi Casanovas Aymerich

Tutor: Joan Antoni López Martínez

RESUM

La finalitat d'aquest projecte és dissenyar i calcular l'estructura d'un rocòdrom, comptant amb tots els elements que ha de tenir una instal·lació d'aquestes característiques.

Partirem d'un model hipotètic, en aquest cas d'una estructura quadrada de 13 metres d'alçada i 4x4 d'amplada, on hi afegirem uns mòduls per tal de donar-hi forma. Un cop tinguem les dimensions del rocòdrom, podrem dimensionar l'estructura correctament, ja que necessitarem saber a quines forces estarà sotmesa la instal·lació. Així doncs, partint de la ubicació geogràfica i amb les dimensions, calcularem els esforços que haurà de suportar l'estructura.

Un cop tinguem el disseny teòric del conjunt, observarem com es comporta, es dibuixarà l'estructura amb 3D, utilitzant el *SolidWorks* i mitjançant el càlcul estructural, estudiarem en quins punts l'estructura és més feble i quins punts caldrà reforçar.

Amb l'estructura dimensionada correctament, caldrà pensar quins elements ens faran falta per acabar de construir el rocòdrom, material d'escalada, panells, cargols, etc. Veure com unirem tots els components per tal de poder muntar el conjunt, transportar tots els components i finalment en calcularem el cost.

ABSTRACT

The main purpose of this project is design and estimate the structure of a wall climb, considering all the things that a climb facility with these characteristics will need.

We're going to start with an hypothetical model, in this case, one structure of 13 meters of height and 4x4 meters of width, where we will add some external modules in order to give some shape to the structure. Once we have the dimensions and the location, we will know the forces that the structure will have to resist.

When we have the initial design, we are going to observe how the structure behaves, designing the model in 3D, using the *Solidworks Software* and employing the simulation of structures. Also, we are going to study in which points the structure suffers more and, in consequence, we will strengthen it.

With the structure calculated correctly, we are going to think in which components we need in order to complete the wall climb, like panels, climb material and other tools. Then, we will have to see how we are going to assemble all of the parts so as to mount it and transport it.

Finally, we are going to calculate the cost of this project.

ÍNDEX

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Antecedents.....	3
1.2. Objectius.....	3
1.3. Emplaçament geogràfic	4
1.4. Què és un rocòdrom?	4
1.5. Què és l'escalada?	6
1.5.1. Quins tipus d'escalada hi ha?	8
1.5.2. Quin material de seguretat s'utilitza?	11
1.5.3. Quins tipus d'assegurances es fan servir en l'escalada?	13
1.5.4. Com es regula el grau de dificultat de les vies d'escalada?	13
CAPÍTOL 2. DISSENY ESTRUCTURAL.....	15
2.1. Funcionament	15
2.2. Disseny 3D	17
2.3. Material utilitzat	20
CAPÍTOL 3. ESTUDI ESTRUCTURAL	23
3.1. Càrregues aplicades	23
3.2. Càlcul estructural	35
3.2.1. 1er Càlcul estructural	35
3.2.2. 2n Càlcul estructural	37
3.2.3. 3r Càlcul estructural	41
3.2.4. Càlcul estructural de l'esforç vertical	44
3.3. Càlcul de les forces resultants als peus dels pilars	45
3.4. Pes de l'estructura	46
3.5. Estudi dels fonaments	49
3.6. Càlcul dels espàrrecs de subjecció de l'estructura	52
3.7. Estudi dels cargols de subjecció dels elements de seguretat	54
3.8. Estudi dels cargols de subjecció dels mòduls	58
CAPÍTOL 4. PRESSUPOST DEL ROCÒDROM.....	59
CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS.....	61
CAPÍTOL 6. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA	62



CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

El motiu pel qual he decidit endinsar-me en aquest projecte és l'evident increment d'aquesta pràctica a la Catalunya central i la manca d'instal·lacions públiques per poder-hi practicar aquest esport.

Així doncs com a escalador que sóc i estudiant d'enginyeria crec que podria ser interessant experimentar de primera mà la complexitat que pot tenir dur a terme un projecte d'aquestes característiques.

D'altra banda, crec que és necessari l'aplicació de nous espais lúdics d'aquest caràcter, per tal de motivar als joves a provar coses noves i per fomentar la pràctica de l'esport, així com en aquest cas de l'escalada en una societat que actualment ve molt marcada per les noves tecnologies i el sedentarisme.

Actualment al Bages només hi ha un rocòdrom al aire lliure, el Paul Harris a la zona esportiva del Congost de Manresa. Tot i que en els últims anys no s'hi ha realitzat pràcticament cap tasca de manteniment, això a provocat l'evident deteriorament del Paul Harris i explica l'actual estat deplorable d'aquest rocòdrom que fa que pràcticament ningú l'utilitzi actualment i els que s'hi atreueixen es troben amb petits entrebancs, com preses que no estan ben fixades, cargols rovellats i d'altres entrebancs que fan impossible gaudir d'aquesta instal·lació amb seguretat.

1.2 Objectius

L'objectiu d'aquest treball consisteix en dissenyar un rocòdrom a la zona esportiva de la població de Santpedor, per a tal que els centres excursionistes de la comarca, esplais, aficionats a l'escalada i d'altres entitats relacionades amb aquestes activitats en puguin fer ús i es pugui fomentar l'increment d'aquesta pràctica.

El projecte consistirà en el disseny de la estructura metàl·lica, per tal d'instal·lar-hi un rocòdrom, tenint en compte totes les forces a les quals està sotmès per tal de garantir la seguretat dels escaladors que l'utilitzin.

Una vegada dissenyada l'estructura, caldrà fer el pressupost de tot el material utilitzat, ja sigui material estructural o material d'escalada, preses, assegurances, reunions, etc.

Aquest treball té com a objectiu mostrar al lector el desenvolupament del projecte per arribar als resultats finals i els raonaments que s'han seguit davant de cada decisió presa, tenint en compte els problemes que se'ns aniran presentant. Així com donar a conèixer quatre aspectes bàsics de l'escalada per tal d'ajudar a entendre una mica més el funcionament del rocòdrom.

1.3 Emplaçament geogràfic

L'emplaçament on es vol instal·lar el rocòdrom és en un descampat abandonat de la zona esportiva de Santpedor, on antigament hi havia una associació esportiva d'automòbils de radio control, que actualment porta més de 10 anys en desús.

Es creu que serà un bon lloc, ja que es de fàcil accés, amb un ampli aparcament i on al estiu els joves podran combinar la pràctica de l'escalada amb les piscines municipals. D'altra banda, aquesta ubicació també reduirà en certa mesura l'impacte visual dels veïns, ja que en aquesta zona no hi ha comunitats de veïns properes, sense renunciar a una proximitat al poble que afavorirà l'ús de la instal·lació.



Imatge 1. Emplaçament de la instal·lació.



Imatge 2. Situació geogràfica escala 1:250000.

1.4 Què és un rocòdrom?

Un rocòdrom és una instal·lació preparada específicament per practicar l'escalada, amb l'objectiu d'evitar haver de desplaçar-nos a les vies de la muntanya. Es fa servir principalment per entrenar, en dies en els que no es disposa de suficient temps per fer aquests desplaçaments. D'altra banda els rocòdroms també es fan servir en esplais per a nens com a activitat de lleure o en centres excursionistes amb la finalitat d'ensenyar a utilitzar el material d'escalada, aprendre a escalar, a assegurar i a fer ràpel. Així com en cicles formatius o d'altres finalitats educatives relacionades amb l'escalada o el muntanyisme. Els rocòdroms estan equipats igual que les vies naturals però la superfície per la qual s'escala és totalment artificial. La seva forma i mida pot variar segons el disseny de cada estructura.

Aquestes infraestructures estan regulades específicament per la normativa Europea UNE EN 12572 i es obligatòria en tota la Unió Europea.

De rocòdroms n'hi ha de varis tipus:

- **Estructura metàl·lica amb polièster reforçat amb fibra de vidre**, consten de panells fets de resina que imiten la forma i textura de la roca natural, es fan servir en exterior.
- **Estructura metàl·lica i fusta**, la fusta es normalment laminada. Normalment aquestes fustes són tractades amb resines i àrids per donar-hi una textura més adherent.

- **Estructura metàl·lica i formigó projectat.**



Imatge 3. Rocòdrom Paul Harris, Manresa.

Els rocòdroms estan equipats amb els següents materials:

- **Preses:** Són objectes de diferents mides, formes i colors, que simulen els suports que es poden trobar a una paret a la muntanya. Es fixen a les planxes del rocòdrom amb cargols allèn, sovint de mida 10 i es pot variar la seva posició a voluntat, el què fa que canviï la seva forma d'ús i que una mateixa presa ofereixi moltes possibilitats de dificultat. Els materials de fabricació poden ser resines de polièster, poliuretà o de resina epoxídica.
- **Assegurances:** La posició de les assegurances ha de seguir el dispostat per la norma europea, es tracta de plaquetes d'acer inoxidable que s'han d'ancorar mitjançant un cargol de la mateixa estructura del rocòdrom.
- **Reunions:** Les vies solen disposar d'una reunió al final de cada via, formada normalment per una anella i un mosquetó d'acer soldat amb tancament de filferro. Serveixen per subjectar l'escalador a la part superior de la estructura per tal que aquest pugui baixar fent ràpel.

1.5 Què és l'escalada?

L'escalada és una activitat de muntanyisme que consisteix en realitzar ascensos sobre parets verticals, zones escarpades o altres relleus naturals

caracteritzats per la seva verticalitat fent servir la força física y mental. Es considera escalada tot ascens realitzat amb l'ajuda de les extremitats del cos. En l'escalada hi ha altures que impliquen un perill considerable, per això es molt important fer servir el material de seguretat adequat i tenir-lo en correctes condicions.

L'escalada es subdivideix en dues modalitats d'escalada principals, l'escalada esportiva i l'escalada clàssica. Dins d'aquestes n'hi ha diferents tipus segons les característiques de l'ascens.

L'escalada esportiva es caracteritza pel seu sistema de seguretat, fa servir encoratges prèviament fixats a la paret mitjançant sistemes mecànics d'expansió o químics com les *resines epoxi*. Aquests encoratges, son col·locats a la paret estratègicament, amb el qual el tipus d'escalada es centra més en la tècnica dels moviments i en la dificultat d'aquests.

L'escalada esportiva ofereix menys risc per l'escalador y permet augmentar el nivell de dificultat de les vies, permetent l'escalada de parets més complicades amb moviments més explosius i arriscats. Aquesta escalada sol buscar la bellesa dels moviments i complexitat d'aquests, ja que si l'escalador cau com que esta assegurat no hi ha tant risc de lesió.

L'estil d'escalada esportiva és l'estil que trobaríem especialment en rocòdroms o "*boulders*" on la curta distància dels ascensos permeten la possibilitat d'efectuar moviments molt més explosius i tècnics, ja que no s'hi involucren tant els factors de resistència o psicològics que hi trobaríem en les parets de llarga distància.



Imatge 4. Parabolt d'escalada esportiva.

L'escalada clàssica es aquella que conserva les maneres tradicionals alpines, es a dir, són vies llargues de dificultat menor, on els ascensos es realitzen en grups de dos o més escaladors. El primer escalador puja primer i va instal·lant les assegurances, que en aquesta modalitat es fan servir encoratges naturals com arbres, ponts de roca o amb encoratges artificials recuperables, es a dir, claus, nusos estampats en escletxes, friends, etc. o d'altres no recuperables com els tacs d'expansió auto perforants que ofereixen una major seguretat però son més lents d'instal·lar. Un cop el primer escalador ha ascendit un tros, s'assegura i procedeix a pujar el segon escalador que va desmuntant els encoratges prèviament muntats pel primer escalador. I així fins arribar al cim.



Imatge 5. "Friend" col·locat en una escletxa.

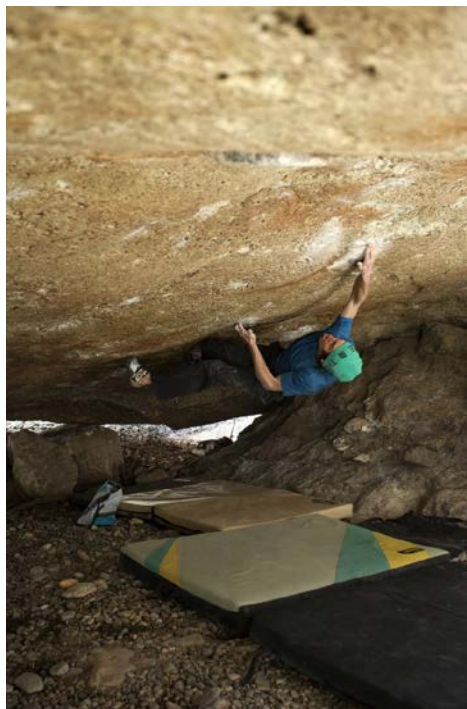
1.5.1 Quins tipus d'escalada hi ha?

- **Escalada en rocòdrom:** S'escala en una estructura artificial al aire lliure o a dins d'un recinte i s'escala amb corda.
- **Escalada en sales de boulder:** S'escala en recintes tancats on no es fa servir corda, ja que l'estructura no te gaire alçada i s'hi posa un matalàs al terra per evitar fer-se mal en les caigudes. Normalment s'escala amb desplaçament horitzontal ja que l'estructura te una alçada reduïda. Es fa servir especialment per entrenar.



Imatge 6. Sala de boulder.

- **Escalada en boulder:** S'escala sense corda, ja que les vies no tenen gaire altura i s'hi posa un matalàs al terra. És el mateix que l'escalada en sala però en roques naturals.



Imatge 7. Boulder exterior.

- **Escalada en roca:** És la que es practica al aire lliure en parets de roca natural i es subdivideix en les següents categories depenent de les característiques de la roca.

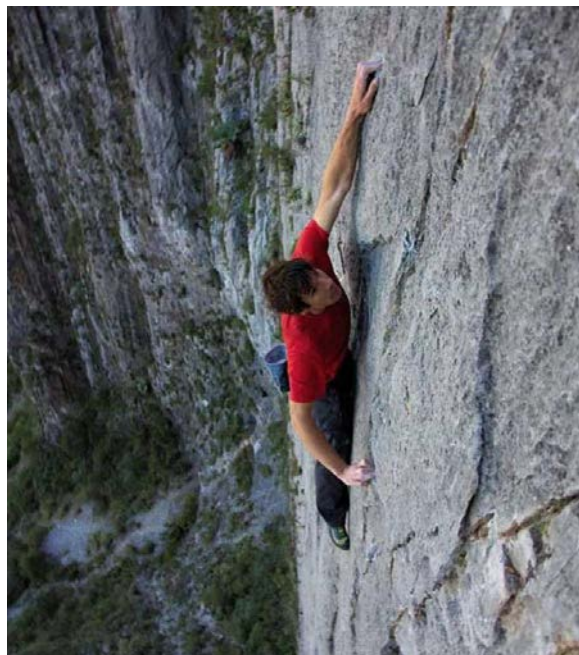
- Escalada en roca.
- Escalada alpina, es practica a l'alta muntanya amb totes les implicacions del medi, clima, altitud, etc.

- Big wall, es practica en parets molt altes, els ascensos poden superar els 500m d'alçada.
- Escalada mixta, es practica en parets de roca i gel.
- Escalada en gel, els ascensos es realitzen amb parets de gel i s'utilitzen grampons i piolets.
- Psicobloc, és l'escalada que es practica sense corda i es fa a les parets que hi han en els penya cegats, sobre l'aigua del mar o llacs. La caiguda l'amortitza l'aigua.



Imatge 8. Psicobloc.

- Escalada urbana, es practica en grans edificis a les ciutats i es il·legal en molts països.
- Escalada d'adherència, es realitza en parets no completament verticals però no hi ha preses de peu ni de mans. S'ha d'anar ascendint amb el cos completament tombat sobre la roca per tal d'obtenir el màxim d'adherència.
- Escalada en "solo", és la practica més extrema de l'escalada i consisteix en escalar sense corda ni assegurances, un error separa l'escalador de la vida i la mort. Normalment es practica en vies que coneix molt bé. A més normalment s'escullen vies per sota del nivell del escalador.



Imatge 9. Escalada en solo.

1.5.2 Quin material de seguretat s'utilitza?

El material d'escalada que haurem de fer servir dependrà de cada estil d'escalada. Si es vol practicar escalada esportiva necessitarem, arnes, peus de gat, mosquetons, cintes exprés, sistemes de frenat (ATC, grigri, reverso, etc.), corda dinàmica, puny ascensor, casc i magnesi, encara que en molts llocs com parcs naturals esta prohibit fer-ne servir ja que te un impacte visual temporal a la roca. Per escalada artificial, escalada interior o clàssica, a més a més, necessitarem altres materials.

Per escalar, sempre farem servir una sèrie d'elements bàsics independentment del tipus d'escalada que vulguem practicar: arnes, cintes exprés, mosquetons normals o de seguretat, corda dinàmica, magnesi, peus de gat, cinta llarga, grigri y casc. Es molt important portar el material adient per cada estil d'escalada, tenint en conta el tipus de roca, el grau del sector que es vol escalar y l'estat dels elements fixos de seguretat que incorpora la via. Si durant l'ascens ens trobem amb algun punt de fixació que estigues rovellat o en mal estat es important dur altre material de seguretat per tal de sortejar aquests contratemps. S'ha de dur sempre material de més, per possibles emergències que puguin sorgir.

Per escalar en rocòdrom necessitarem el material mínim: arnes, corda dinàmica, peus de gat, cintes exprés, sistema de frenat (preferiblement un grigri, o algun altre sistema automàtic) i un cap lligat amb un mosquetó de seguretat, per tal de auto assegurar-nos en les reunions. Per escalada esportiva en vies equipades amb ancoratges fixos necessitarem poc més que

en l'escalada en rocòdrom. El casc, component que molts escaladors s'obliden dur.

L'equip d'escalada es pot classificar de la següent manera:

- Equip personal.
 - o Arnes.
 - o Peus de gat.
- Casc.
- Cordes y cintes.
 - o Cordes estàtiques.
 - o Cordes dinàmiques.
- Mosquetons.
- Normals.
- De seguretat.
- HMS.
- Frens.
 - o Gri-gri.
 - o Sum.
 - o Cinch.
 - o Plaques de freno.
 - o ABS.
 - o ATC.
 - o Reverso.
 - o Nus dinàmic muntat sobre mosquetó HMS.
- Rapeladors.
 - o El huit.
 - o El piranya.
- Fixacions.
 - o Claus.
 - o Fisurats o empotrators.
 - o Friends.
 - o Plom.



1.5.3 Quins tipus d'assegurances es fan servir en l'escalada?

Es diferencien en dos tipus, les recuperables que són les que es fan servir en escalada clàssica, alpina i "Big Wall". I les no recuperables, fetes servir especialment en esportiva.

Les fixacions fetes servir en la tècnica esportiva poden ser tacs auto perforants, comentats anteriorment, els coneguts parabolts o els cargols químics. L'ús cada vegada més assequible dels trepants autònoms permet instal·lar fixacions més profundes i segures com són els parabolts i els cargols químics. Això fa que en l'escalada esportiva l'ús dels tacs auto perforants estigui desapareixent.

Els parabolts consten d'un cargol del fins a 15 centímetres de longitud, al llarg del qual s'hi intercala una o varies cunyes troncocòniques que s'expandeixen contra una camisa exterior i a la vegada aquesta camisa s'estampa contra les parets del forat. En l'extrem exterior del cargol roscat s'hi instal·la una xapa o anella de connexió. Tal y com hem vist anteriorment.

Els cargols químics s'adhereixen a la pedra mitjançant un adhesiu, generalment a base de resines epòxid. Es perfora el forat, posteriorment netejat, s'hi aplica la resina amb pistoles d'injecció o capsules pre-dosificades, després s'hi posa el cargol. El cargol bàsicament es una barra rugosa que s'agafa a la resina i al extrem hi ha una argolla on s'hi pot agafar el mosquetó. El cargol sol estar fet de materials molt resistents com el acer bicromat o inoxidable.

Aquest sistema de instal·lació necessita un temps de repòs després de la seva instal·lació abans de poder se fer servir, que pot variar segons al resina que s'ha fet servir i les condicions meteorològiques. D'altre banda, aquest sistema es el que ofereix una major resistència i durabilitat, pot instal·lar-se en multitud de roques, inclús en pedres toves que no permetrien la instal·lació de ancoratges d'expansió. Avui en dia es considerat el millor tipus d'ancoratge sobre pedra.

1.5.4 Com es regula el grau de dificultat de les vies d'escalada?

En les diferents modalitats d'escalada, els escaladors graduen les vies basant-se en diferents factors com dificultat tècnica, perill, exposició i dificultat per assegurar-te.

Cada modalitat d'escalada te la seva pròpia graduació de dificultat i en algunes modalitats inclús cada país o regió te la seva pròpia regulació. Per tant es difícil comparar els graus de dificultat, ja que pot variar segons el lloc on s'escala. Aproximadament però tindriem la taula adjunta a continuació.



Vias					Boulder	
Australia	U.I.A.A.	E.U.A.	França	Brasil	Hueco (USA)	Inglaterra
18		5.9	5c	5		B4
19	VI+	5.10a	5c+	5 Sup		
19/20	VI+/VII-	5.10b	6a	6a	V3	B4/B5
20	VII	5.10c	6a+	6b		
21	VII+	5.10d	6b	6c	V3/V4	
21/22	VII+/VIII-	5.11a	6b+	7a	V4	B5
22	VII-	5.11b/c	6c+	7b	V5	B6
23	VIII	5.11d	7a	7c	V6	B7
24	VIII/VIII+	5.12a	7a+	8a	V7	B8
25	VIII+	5.12b	7b	8b	V8	B8/9
26	IX-	5.12c	7b+	8c	V8/9	B9
27	IX	5.12d	7c	9a	V9/10	B10
28	IX/IX+	5.13a	7c+	9b	V10	B11
29	IX	5.13b	8a	9c	V11	B11/12
30	X-	5.13c	8a+	10a	V12	B12
31	X	5.13d	8b	10b	V13	B13
32	X+	5.14a	8b+	10c	V14	B14
34	XI	5.14c	8c+	11a		
35	XI+	5.14d	9a	11c		
36	XII-	5.15a	9A+	11b		

Taula 1. Escala dels graus de dificultat.

CAPÍTOL 2. DISSENY ESTRUCTURAL

2.1 Funcionament

L'estructura que estudiarem disposarà de 2 vies per cada cara, amb un total de 4 cares que comptaran amb diferents desploms i relleus. Cada via disposarà de 2 metres d'amplada. Això proporcionarà al rocòdrom una major llibertat alhora d'escollir la combinació de preses que farem servir durant l'ascens. D'altra banda, aquesta disposició ens ajudarà a tindre un augment de grau progressiu, ja que quan més desplom més exigència física. Així doncs amb un mateix desplom aconseguirem poder-hi instal·lar dues combinacions de preses diferents, per tal d'anar augmentant el nivell de les vies i fer-lo apte per a tots els públics, des de la cara perfectament plana fins al sostre desplomat.

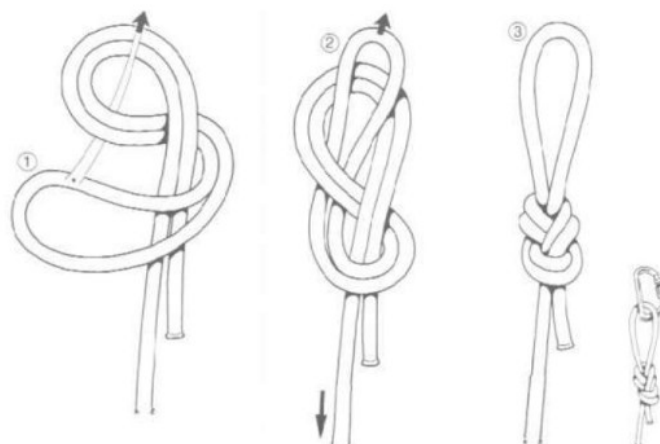
Alhora d'iniciar un ascens es important tenir en compte el procediment establert i disposar del següent material de seguretat com a mínim.

Material: 2 arnesos, 1 corda, 1 gri-gri o similar, cintés i 1 mosquetó de seguretat.

Procediment de seguretat per equipar una via:

1^{er} - Els dos escaladors es posen els arnesos assegurant que els hi quedin ben ajustats.

2ⁿ - L'escalador que realitzarà l'ascens, es lliga per un extrem de la corda, utilitzant el nus de seguretat "8". Tal i com podem observar en la imatge a continuació.



Imatge 10. Nus de "8".

3^{er} - L'escalador que assegura, es lliga el gri-gri al arnes i fa passar la corda per dins d'aquest. S'ha de comprovar que el gri-gri funciona correctament abans de realitzar l'ascens. Tal i com es mostra en la imatge adjunta.



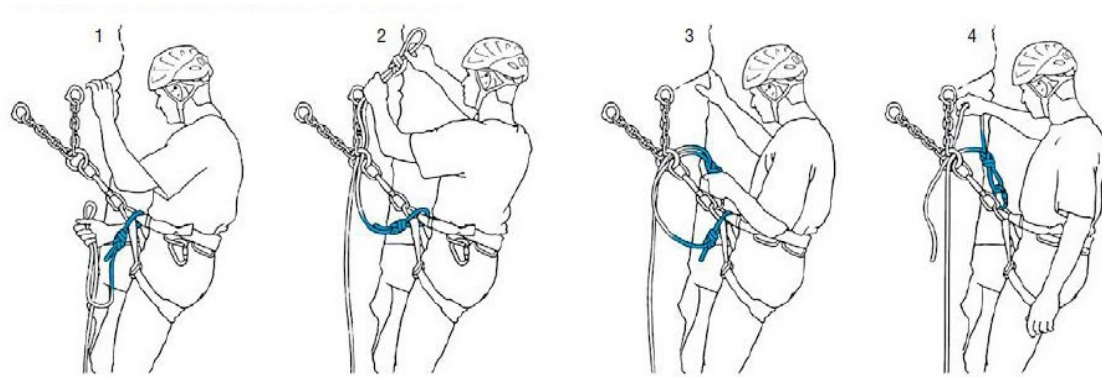
Imatge 11. Gri-gri de seguretat.

4^{rt} - L'escalador que realitza l'ascens, comença a pujar i es va assegurant als diferents ancoratges que es troba al llarg del camí amb una cinta, unint la xapa de la paret amb la corda.



Imatge 12. Escalador assegurant-se.

5^é- Quan l'escalador arriba a dalt de tot, s'assegura a la reunió i es lliga del mosquetó de la reunió per començar el ràpel, a mesura que va descendint s'ha d'anar traient les cintes exprés que hem anat deixant durant l'ascens.



Imatge 13. Escalador fent la Reunió.

Un cop s'ha realitzat l'ascens, es diu que la via queda muntada, llavors els pròxims escaladors poden lligar-se i escalar lligats des de dalt, si el seu nivell no és suficientment alt poden realitzar l'ascens escalant de segons, així es reduirà el vol de la caiguda.

2.2 Disseny 3D

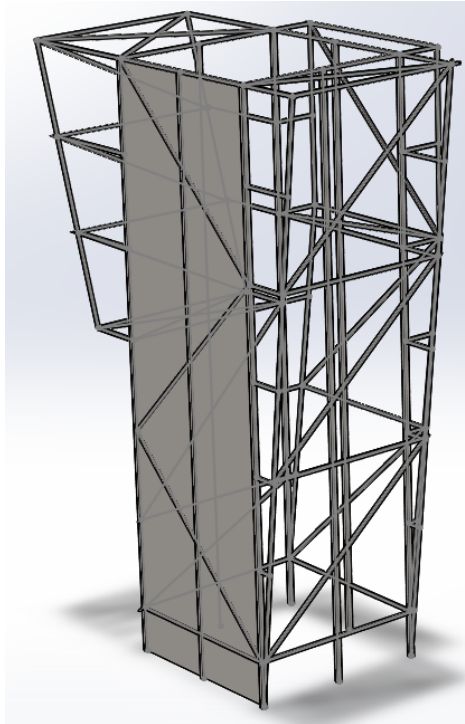
Per dissenyar aquesta estructura hem partit de zero, així doncs aplicant principis d'estàtica, s'ha dibuixat una estructura que parteix d'una base quadrada de 4x4m, formada per 8 pilars centrals de 80x80x5cm, units per la part superior.

Paral·lelament s'hi ha afegit tres mòduls en els laterals, per tal de donar-hi forma i simular els diferents desnivells que ens podríem trobar en el medi natural. D'altra banda, també s'hi han dissenyat uns travessers, per tal de reforçar l'estructura i subjectar els panells que s'hi instal·laran més endavant. Per dissenyar tots els travessers, mòduls laterals i d'altres elements de l'estructura, inicialment vàrem utilitzar barres més febles, de 40x40x4cm.

Un cop realitzat el càlcul estructural, investigarem quins punts calen reforçar i si les dimensions de les barres són les correctes o cal augmentar-les.

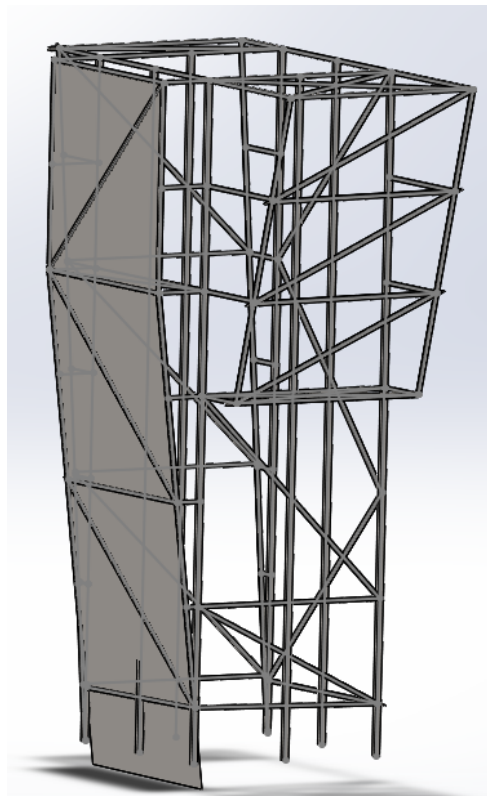
El rocòdrom disposarà de les següents cares:

La cara plana, serà una cara totalment llisa de desplom 0° i de 4m d'amplada on s'hi disposarà de les vies amb grau més baix o iniciació ja que serà la banda més fàcil del rocòdrom.



Imatge 14. Cara plana rocòdrom.

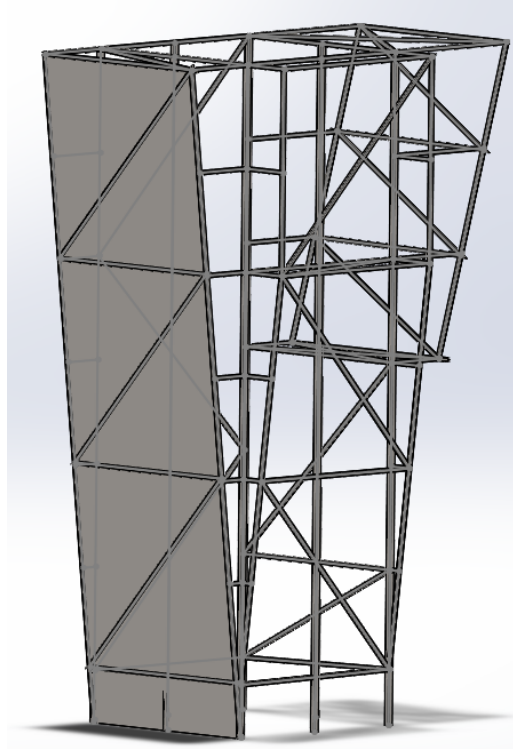
La cara mig desplomada, on s'hi trobaran 9 metres d'ascens, amb un desplom poc significatiu i una part final plana, això exigirà als escaladors un inici un pel més complicat, amb un final sense desplom on els obligarà a tindre un punt més de resistència.



Imatge 15. Cara mig desplomada rocòdrom.

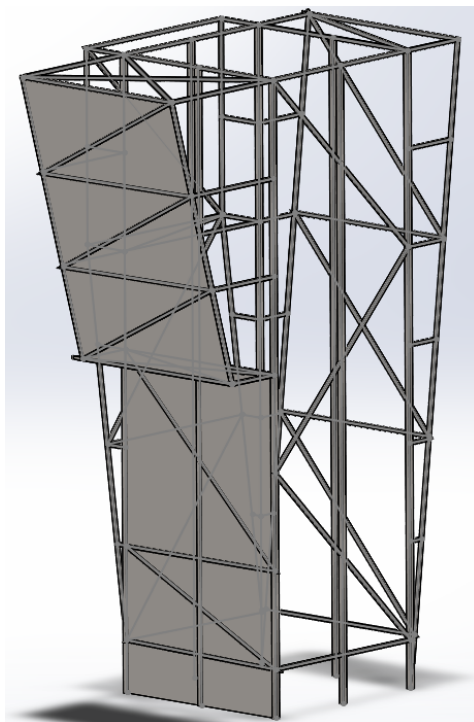


La cara totalment desplomada, en aquesta cara tot l'ascens serà desplomat, tot i que no es un desplom molt pronunciat, recordem que l'alçada del rocòdrom és de 13m, el que obligarà als escaladors a aplicar-s'hi al màxim si volen arribar a dalt de tot.



Imatge 16. Cara desplomada rocòdrom.

La cara amb sostre i desplom final, Aquesta cara serà la més complicada, comptarà amb un ascens inicial de 7m d'alçada sense desplom, però tenint a la part final un sostre de 1,25m, del qual en serà molt difícil sortir-ne i amb un acabament força desplomat que convertirà aquest parell de vies en les més exigents del rocòdrom.



Imatge 17. Cara amb sostre i desplom rocòdrom.

2.3 Materials utilitzats

Els materials utilitzats per cada part de l'estructura són els següents:

Estructura metàl·lica

Finalment, tant com per l'estructura principal com en els mòduls laterals de l'estructura, s'utilitzarà acer estructural St 33 o S185 amb les següents característiques. Veure taula nº2 i 3 extreta del Codi Tècnic d' Edificació (CTE) a continuació.

CARACTERÍSTICAS MECANICAS según EN 10025-2: 2006										
	Re (N/mm ²)		Rm (N/mm ²)		A% (Mínimo tras la fractura)				Resiliencia Charpy	
	d≤16.00	16.00<d	d<3.00	3.00≤d					(°C)	(J)
					<1,5d	>2,5d	>2,5<3	≥3d		
					L _g = 80mm			L _g = 5,5d≤5g		
S185	≥185	≥175	310-540	290-510	12	13	14	18	-	-
S235JR	≥235	≥225	360-510	360-510	19	20	21	26	20	≥27
S235JO									0	
S235J2					17	18	19	24	-20	
S275JR	≥275	≥265	430-580	410-560	17	18	19	23	20	≥27
S275JO									0	
S275J2					15	16	17	21	-20	
S355JR	≥355	≥345	510-680	470-630	16	17	18	22	20	≥27
S355JO									0	
S355J2									-20	
S355K2					14	15	16	20	-20	≥40
E295	≥295	≥285	490-660	470-610	14	15	16	20	-	-
E335	≥335	≥325	590-770	570-710	10	11	12	16	-	-
E360	≥360	≥355	690-900	670-830	6	7	8	11	-	-

Taula 2. Característiques mecàniques d'alguns acers.

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico f_y (N/mm ²)			Tensión de rotura f_u (N/mm ²)	
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$	
S235JR					20
S235J0	235	225	215	360	0
S235J2					-20
S275JR					20
S275J0	275	265	255	410	0
S275J2					-20
S355JR					20
S355J0	355	345	335	470	0
S355J2					-20
S355K2					-20 ⁽¹⁾
S450J0	450	430	410	550	0
⁽¹⁾ Se le exige una energía mínima de 40J.					
<p>3 Las siguientes son características comunes a todos los aceros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - módulo de Elasticidad: E 210.000 N/mm² - módulo de Rigidez: G 81.000 N/mm² - coeficiente de Poisson: ν 0,3 - coeficiente de dilatación térmica: α $1,2 \cdot 10^{-5}$ (°C)⁻¹ - densidad: ρ 7.850 kg/m³ 					

Taula 3. Característiques mecàniques d'alguns acers, part 2.

Sabata i pilar

Per la sabata i el pilar s'ha utilitzat formigó convencional.

Panells Relief de Polièster

Els panells Relief estan fabricats de fibra de polièster, aquests panells són una de les solucions mes encertades alhora d'instal·lar un rocòdrom a la intempèrie.

Estem parlant d'uns panells amb una gran durabilitat que presenta grans avantatges sobre els rocòdroms de fusta, a més te un aspecte molt més semblant a la roca real. Aquests panells disposen de relleus que ens permeten similar subjeccions que trobaríem a la roca natural, també te un tacte i color semblants.

La seva fabricació admet qualsevol tipus de mesura especial, es a dir es pot tallar i ajuntar amb els altres panells, pel que fa que es pugui adaptar a qualsevol estructura. La mida estàndard dels panells és de 1,5x1,5m i hi incorporen 15 rosques d'alta precisió, tot i que en el nostre cas, els demanàrem de 2x2m per motius de muntatge i hi incorporaran 20 roques. En acabat la

instal·lació dels panells, el rocòdrom es pot pintar de qualsevol manera per modificar l'aspecte que l'hi vulguem donar.



Imatge 18. Panells Relief polièster muntats.

Cargols Allen

Per fixar les preses i els elements que van adherits als panells utilitzarem perns de subjecció allèn galvanitzats de 8, 10 i 12 mm, amb una duresa de 8.8.



Imatge 19. Cargols preses escalada.

Reunió amb mosquetó

Reunió amb mosquetó inoxidable, aquest component va instal·lat al final de cada via i d'aquest component depèn en bona part la seguretat del escalador, que s'ha de despenjar de la via que està lligat, lligar-se de la reunió i baixar fins a baix fent ràpel a través d'aquest component. Esta disponible amb acer inoxidable o acer d'alta resistència bicromat.



Imatge 20. Reunió amb mosquetó.

Ancoratges

Els ancoratges han de ser fabricats segons la normativa UNE EN 12572, màxima resistència y un disseny adequat per a rocòdroms. Estan disponibles en mètric 8, 10, 12. Aquest component es de vital importància ja que ha de aguantar la caiguda del escalador des de uns metres d'alçada.



Imatge 21. Ancoratge metàl·lic UNE EN 12572.

CAPÍTOL 3. ESTUDI ESTRUCTURAL

3.1. Càrregues aplicades

Acció del vent

La càrrega del vent la trobem al CTE, que a partir d'una fórmula i una sèrie de valors indicats en unes taules, ens faciliten trobar-la.

A partir de la fórmula:

$$Q_e = Q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

On de l'equació sabem que:

- Q_e : Acció del vent.
- Q_b : Pressió dinàmica del vent.
- C_e : Coeficient d'exposició.
- C_p : Coeficient eòlic o de pressió.

Els valors de cada incògnita els traiem de les taules que hi apareixen en la pàgina del CTE.

- Sabem que la pressió dinàmica del vent q_b és de $0,5 \text{ KN/m}^2$ en gran part del territori espanyol, en el nostre cas segons el mapa de pressió dinàmica del CTE:



Imatge 22. Pressió dinàmica del vent segons el territori

On:

$$A=0.42 \text{ KN/m}^2$$

$$B=0.45 \text{ KN/m}^2$$

$$C=0.52 \text{ KN/m}^2$$

L'estructura està localitzada a Catalunya, per tant, agafem la zona C.

La pressió dinàmica del vent serà de: $Q_b = 0.52 \text{ kN/m}^2$.

- c_e : Coeficient d'exposició

Per trobar el coeficient d'exposició, ho podem trobar aplicant la taula que trobarem a continuació, taula nº 4.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Taula 4. Taula coeficient d'exposició.

En el nostre cas per l'entorn en el que volem aplicar el rocòdrom, hem considerat el grau d'aspresa del entorn nº III, per l'alçada de 13m, que en aquest cas ens en aniríem al següent paràmetre, 15m.

Determinant així segons la taula que: $C_e = 2,6$.

També podem calcular aquest paràmetre aplicant les fórmules que ens dona el CTE:

$$C_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

$$F = k \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right)$$

Els valors k , L i z els trobem a la següent taula.

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno		Parámetro		
		k	L (m)	Z (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Taula 5. Paràmetres pels coeficients de l'entorn.

Així doncs:

$$F = 0.19 * \ln\left(\frac{13}{0.05}\right) = 1.0565$$

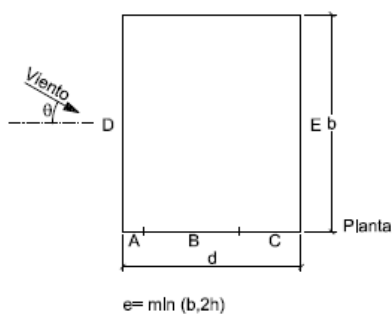
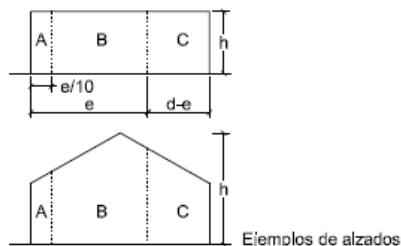
$$C_e = 1.0565 * (1.0565 + 7 * 0.19) = \mathbf{2.52}$$

- c_p : Coeficient eòlic o de pressió

Aquest valor varia depenent de la secció de la superfície de les parets del rocòdrom, en relació al vent. En el nostre cas estudiarem l'acció del vent més crítica, que és quan el vent empeny perpendicularment contra la cara més vulnerable de la nostre estructura. Així doncs, segons la Taula D.3 del CTE, estudiarem el coeficient de les cares del nostre rocòdrom. La cara que tingui una superfície més gran serà la més vulnerable, ja que la força del vent serà superior en aquest punt.



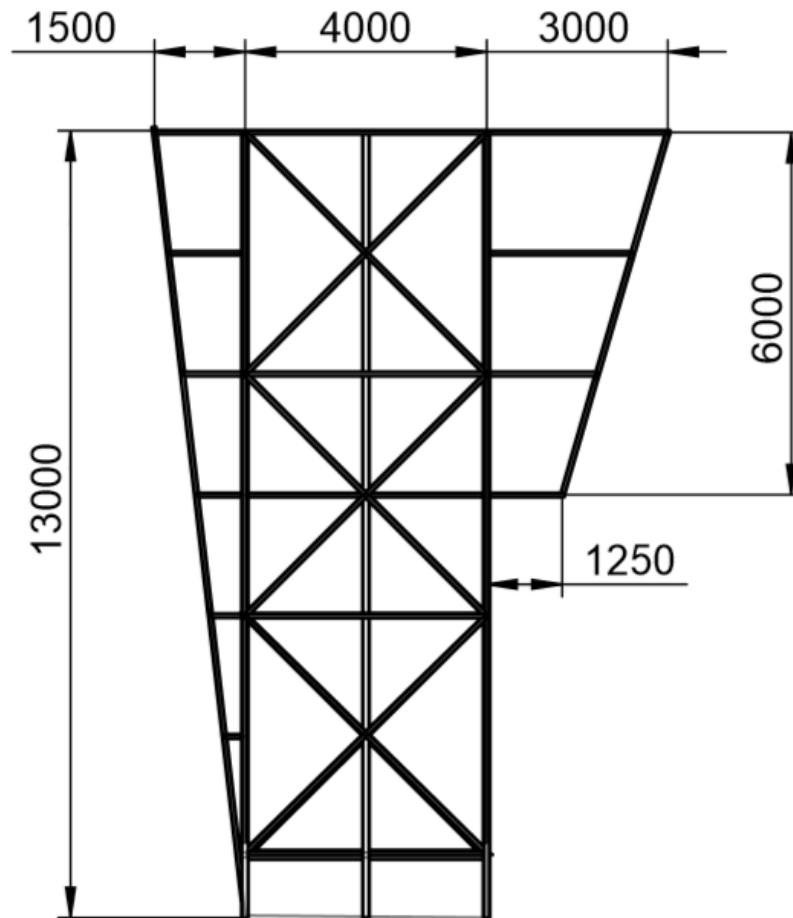
Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

Taula 6. Segona part, paràmetres verticals.

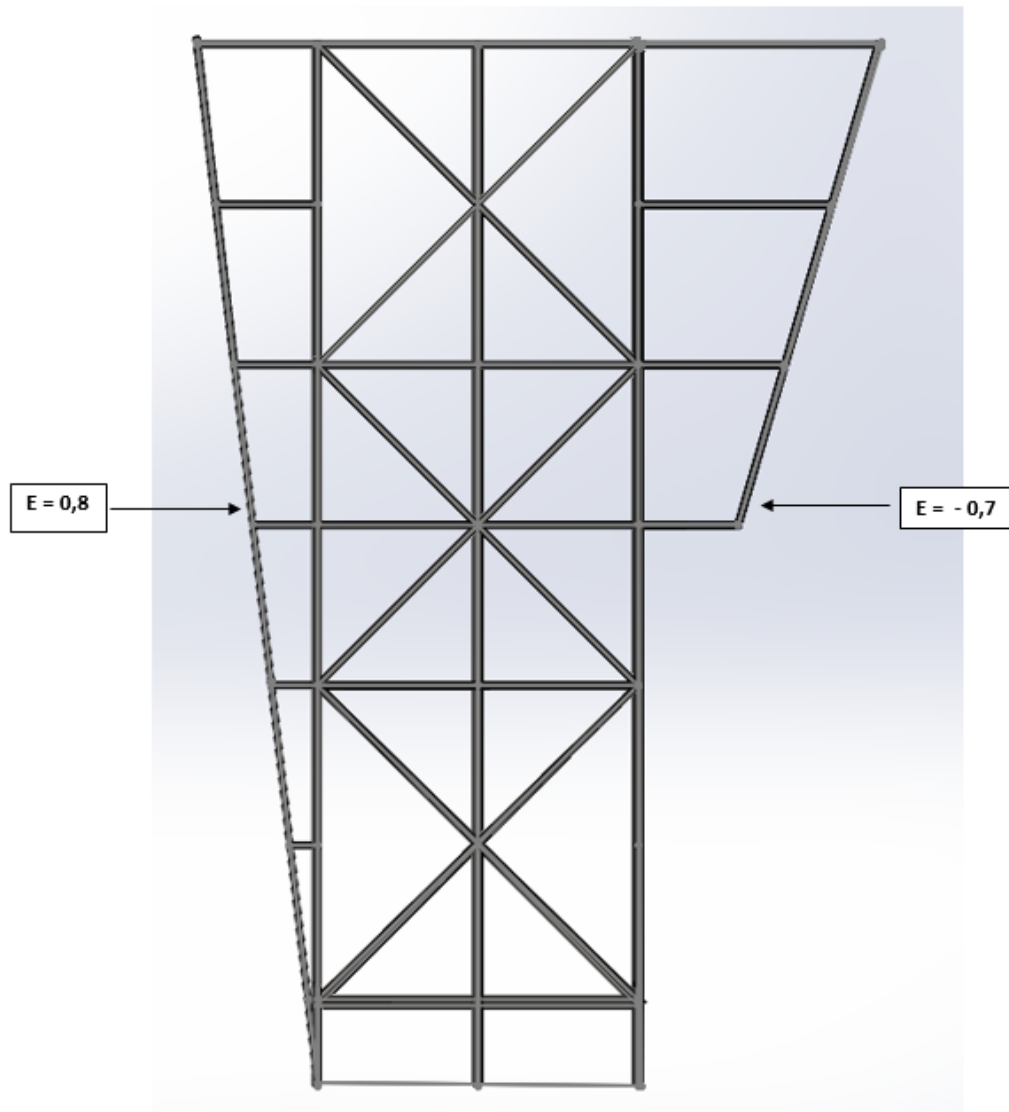
Calcularem l'area de la cara de la nostra estructura que té més superfície.



$$A_t = \frac{1,5 \cdot 13}{2} + 4 \cdot 13 + (1,25 \cdot 6 + \frac{1,75 \cdot 6}{2}) = 76m^2$$

Així doncs per una àrea superior o igual a 10 m² pendrem els valors:
D=0,8 i E=-0,7.

Observem com es comporta la força del vent en la nostre estructura.



Imatge 23. Comportament del vent en l'estructura dissenyada.

Llavors: $C_p = D - E = (0,8 - (-0,7)) = 1,5$

Un cop tenim tots els coeficients, procedirem a calcular la força del vent.

Sabem que la força del vent segons el CTE es calcula amb la següent expressió:

$$Q_e = P_e \cdot C_e \cdot C_f$$

I tenim que:

Q_b	C_e	C_p
0,52 [KN/m ²]	2,52	1,5

Substituïm en l'equació:

$$Q_e = 0,52 \cdot 2,52 \cdot 1,5 = \mathbf{1,9656 \text{ KN/m}^2}$$

Així doncs, la força que s'aplicara en el centre de la nostre estructura serà la següent:

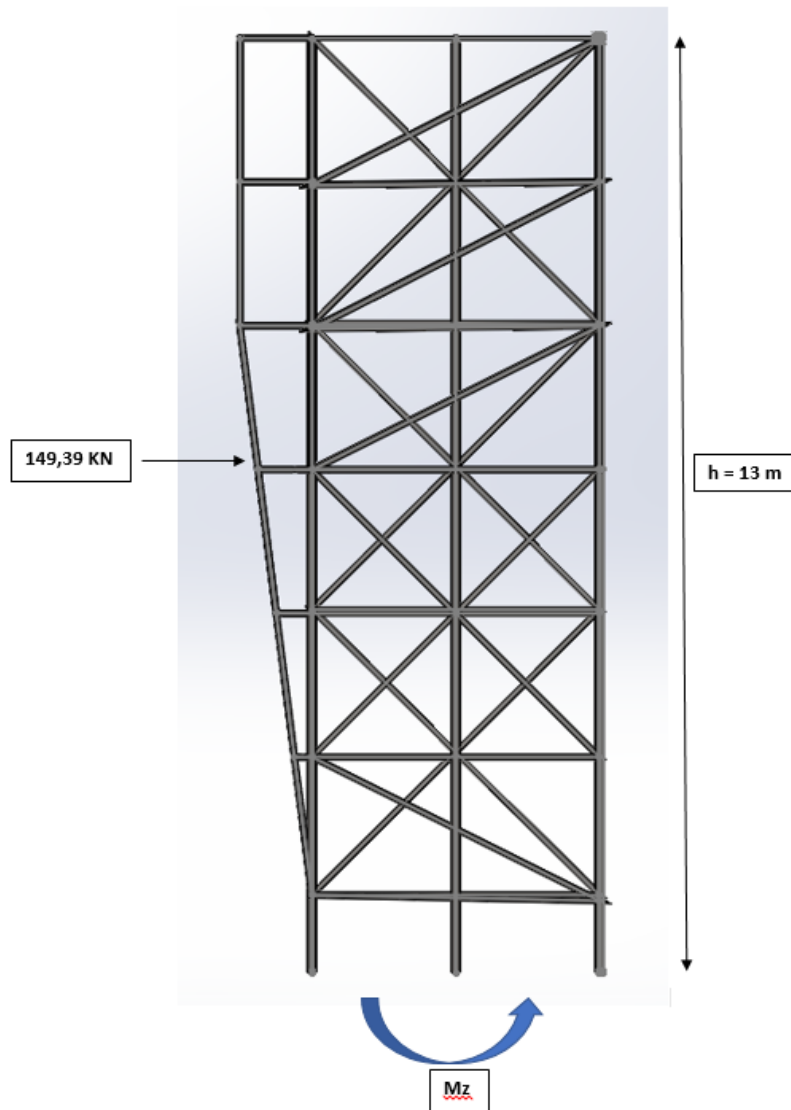
$$F_{vh} = Q_e \cdot S$$

On S és l'area de la superfície de la estructura.

Llavors si $S = 76\text{m}^2$:

$$F_{vh} = 1,9656 \cdot 76 = 149,3856 \approx \mathbf{149,39 \text{ KN}}$$

Observem com es comportara la nostre estructura davant d'aquesta força si tenim els peus encastats per la part inferior:



Imatge 24. Estàtica de l'estructura amb l'acció del vent.



Calcularem el moment flector:

$$\sum M = Fvh \cdot \frac{h}{2} - M_z = 0$$

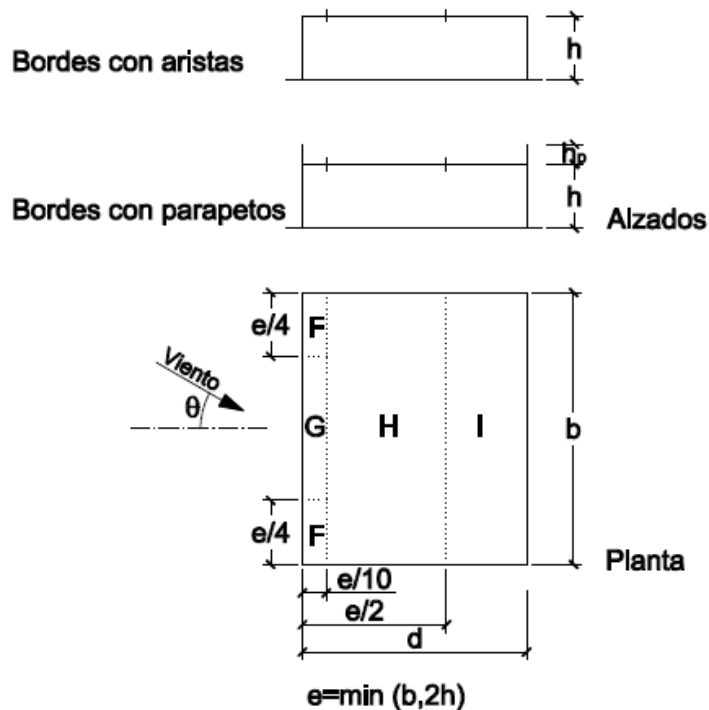
$$M_z = Fvh \cdot \frac{h}{2}$$

$$M_z = 149,39KN \cdot \frac{13m}{2} = 971,0064 \approx \mathbf{971KN \cdot m}$$

Acció del vent en la cuberta

La formula per calcular com es comportarà el vent en la teulada de l'estructura, és la mateixa que en l'apartat anterior, sabem que els coeficients de pressió dinàmica i el coeficient d'exposició seran els mateixos. Ara bé, calcularem el nou coeficient eòlic o de pressió per aquest cas en concret. Així doncs segons les taules del CTE D.4 obtindrem el següent:

Tabla D.4 Cubiertas planas



h_p/h	$A \text{ (m}^2\text{)}$	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2
	0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Taula 7. Coeficient eòlic o de pressió segons l'angle que estudiem.

Ens trobem davant d'una estructura sense parapets, amb una àrea superior o igual a 10m^2 . Prendrem els valors següents:

F	G	H	I
-1,8	-1,2	-0,7	$\pm 0,2$

Com que els valors varien molt depenent de la zona de la taulada, agafarem un valor aproximat fent-ne la mitjana i despreciant el valor de I, ja que es un valor positiu i negatiu en funció del vent.

Així doncs obtenim que el coeficient eòlic o de pressió aproximat és:

$$C_p = \frac{-1,8-1,2-0,7}{3} = 1,2333 \approx 1,2$$

Sabem que l'expressió és:

$$Q_e = P_e \cdot C_e \cdot C_f$$

I tenim que:

Q_b	C_e	C_p
0,52 [KN/m ²]	2,52	1,2

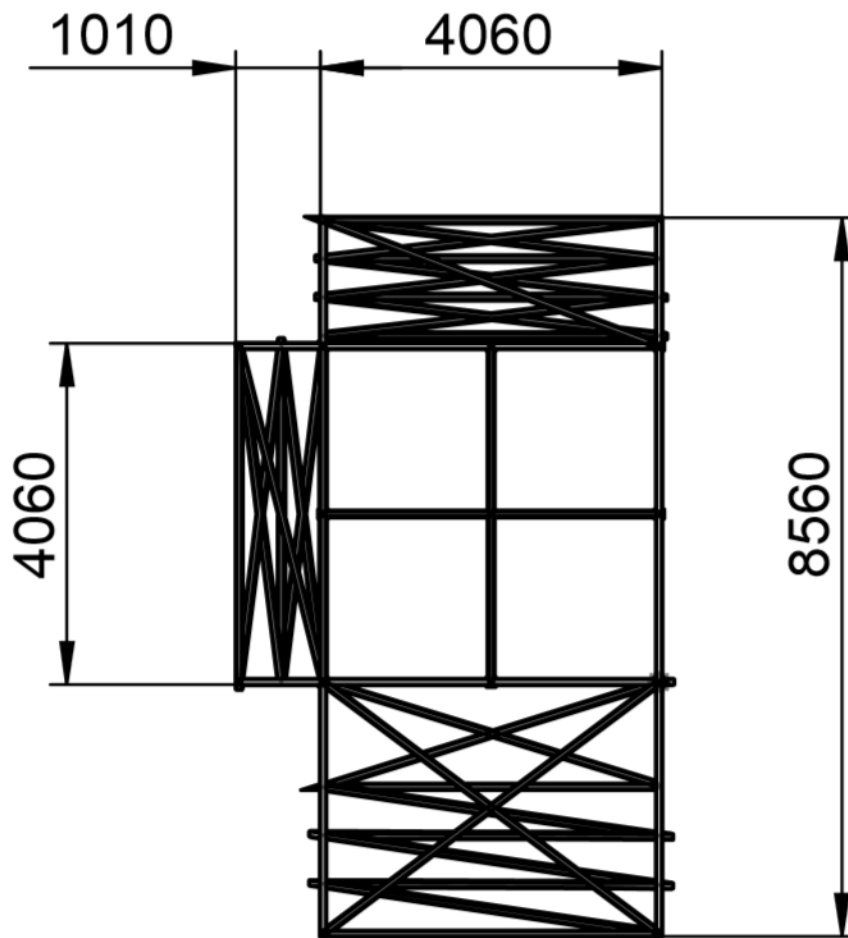
Substituïm en l'equació:

$$Q_e = 0,52 \cdot 2,52 \cdot 1,2 = 1,57248 \text{ KN/m}^2$$

Així doncs la força màxima que experimentarem en la cuberta serà:

$$F_v = Q_e \cdot S$$

On S és l'area de l'area de la superfície:



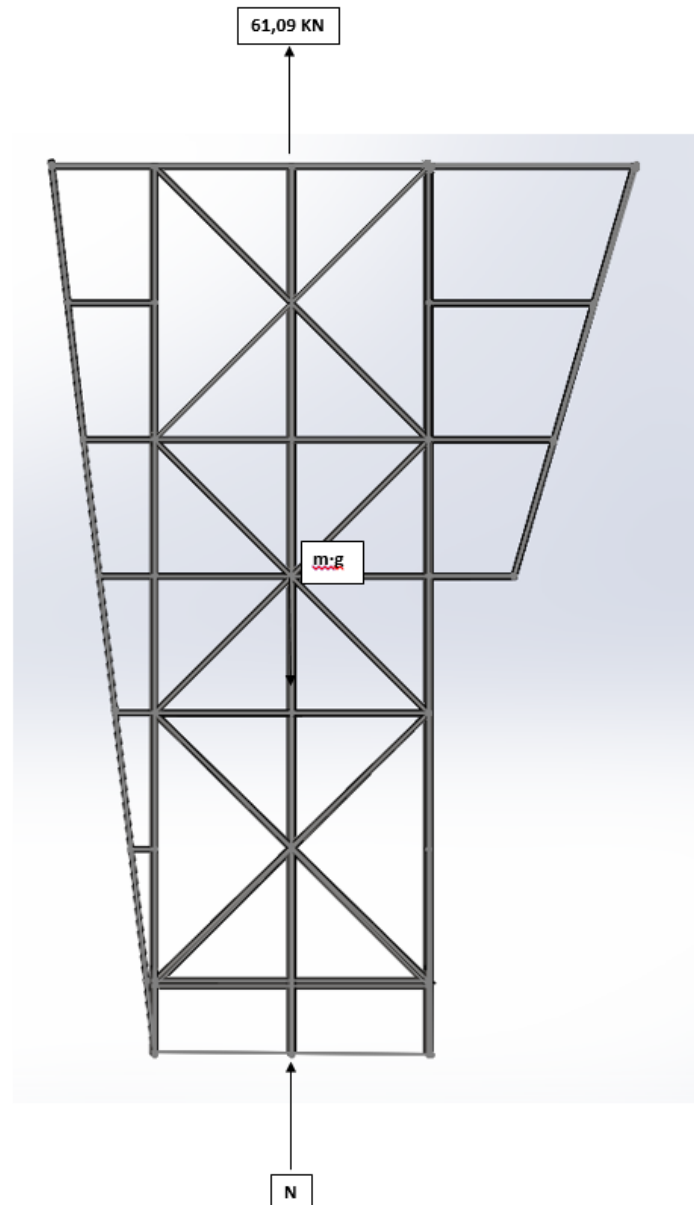
Imatge 24. Vista de l'estructura des de la part superior.

Llavors:

$$S = 4,06 \cdot 1,01 + 8,56 \cdot 4,06 = 38,85m^2$$

$$F_{vv} = 1,57248 \cdot 38,85 = 61,090848 \approx \mathbf{61,09 KN}$$

L'estructura experimentara les següents forces a nivell vertical:



Imatge 25. Comportament del vent a succió.

On:

$$N = (m \cdot g) + F_{vv}$$

$$N = (20000Kg \cdot 9,81m/s^2) + 61090N = 196200 + 61090 = \mathbf{257290N}$$

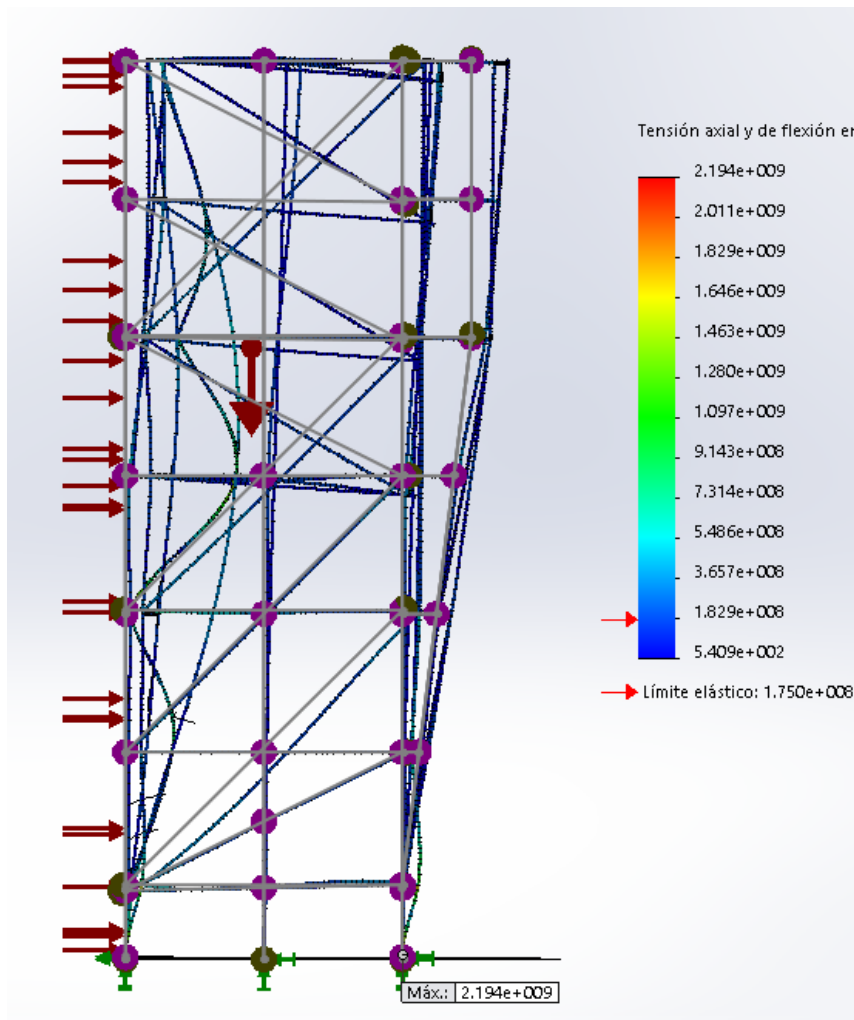
3.2 Càlcul estructural

3.2.1 1r Càlcul estructural

Un cop tenim el primer disseny estructural, procedim a realitzar la simulació d'esforços per una força del vent de **1,9656 KN/m²** en un dels costats, en aquest cas, no hem cregut convenient realitzar l'estudi per les 4 cares de l'estructura, sinó que l'hem aplicat en la més restrictiva, que és la que té més superfície de contacte i amb l'acció del vent en horitzontal.

Tensió i flexió

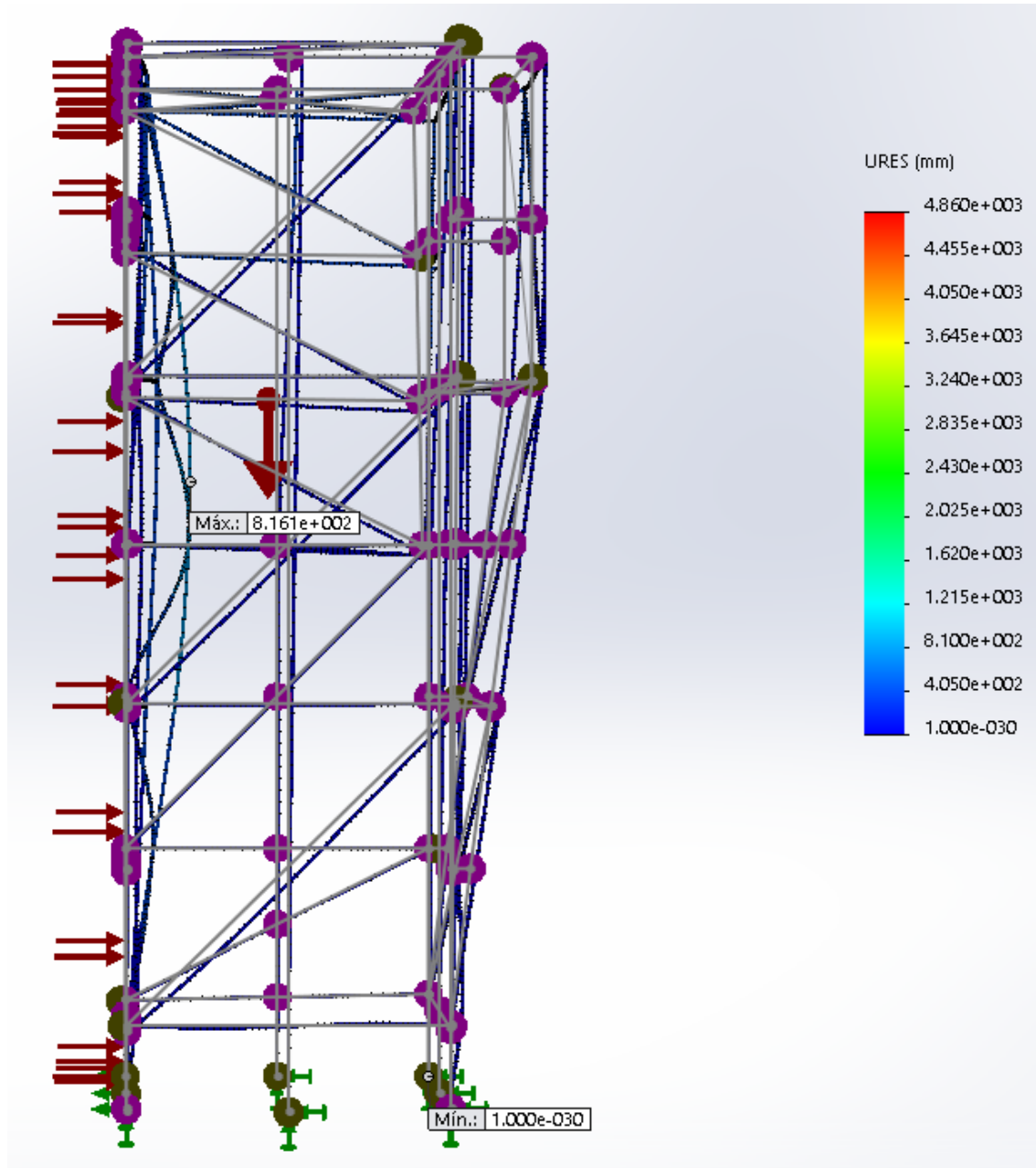
En aquesta imatge, podem comprovar que el valor màxim obtingut del límit elàstic és de **2.194MPa** i es troba en un dels pilars de l'estructura, el límit elàstic màxim que pot aguantar el nostre material, sabem que és de 175MPa. Això vol dir que l'estructura no aguantarà l'esforç del vent i es trencarà. Així doncs caldria reforçar-la perquè aguantés notablement aquests esforços.



Imatge 26. Primers resultats de tensió i flexió amb l'acció del vent.

Desplaçaments de l'estructura

Observem també que l'estructura té molt moviment, fins a **816mm** en el punt màxim. Com podem veure, el moviment màxim el trobem en les barres interiors, ja que es deformen molt en el punt mig, degut al gran voladís que hi ha en aquests pilars, doncs no hi ha cap punt de suport des de la part superior fins a la part inferior. Aquests 13 metres d'alçada sense cap punt de subjecció fa que aquest sigui el punt de l'estructura que pateix més.



Imatge 27. Primers resultats de desplaçament amb l'acció del vent.

1er Reforç de l'estructura

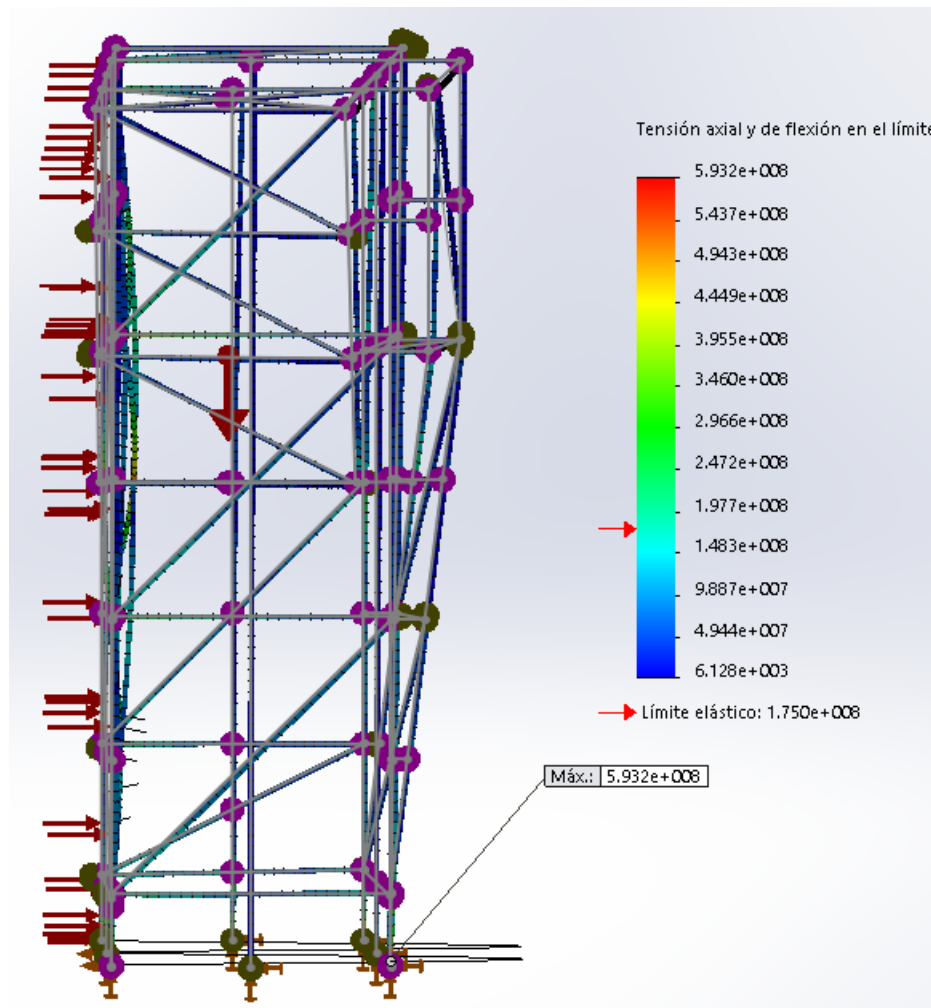
Com que moltes de les barres que formen l'estructura són de 40x40x4cm i es tracte d'una estructura molt alta, hem modificarem totes les barres de 40x40x4cm a 80x80x5cm per donar més rigidesa a l'estructura i veurem com es comporta. Comprovarem si així pot aguantar la força del vent o ens caldrà prendre mesures més dràstiques.

3.2.2 2n Càlcul estructural

Una vegada aplicats els canvis, veurem com es comporta l'estructura.

Tensió i flexió

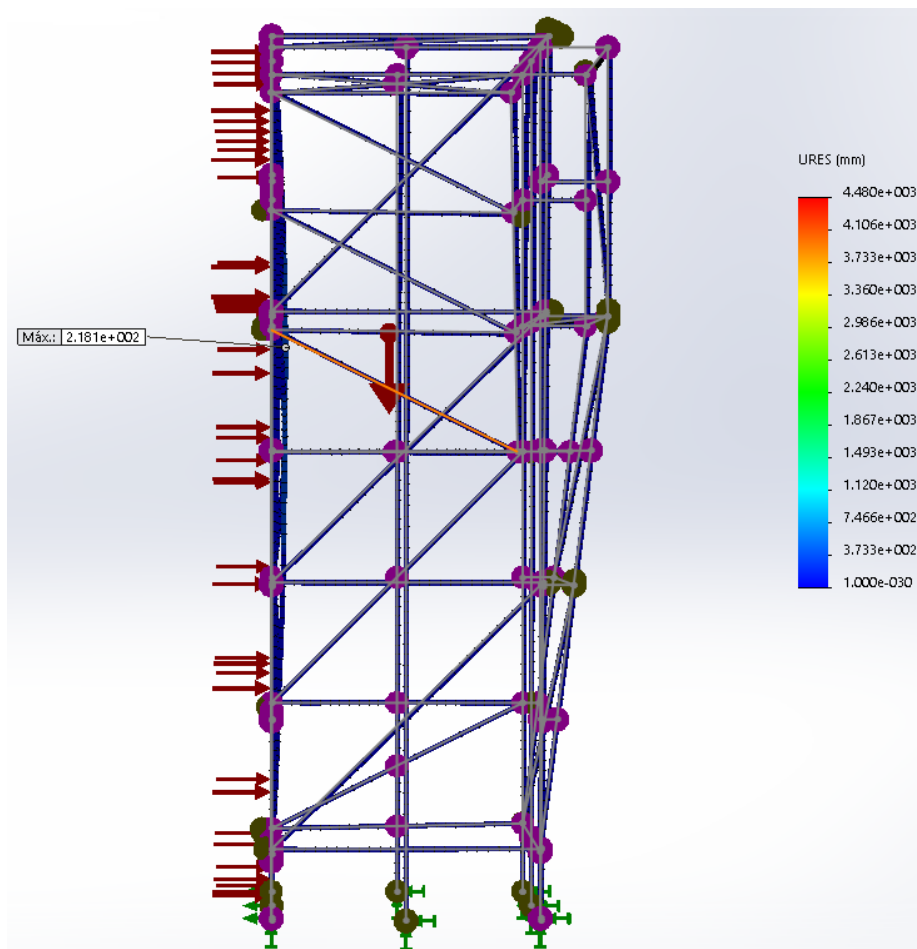
Observem en les imatges que tenim a continuació, que el comportament de l'estructura ha millorat considerablement tot i que segueix sense ser suficient. El punt màxim del límit elàstic ara és de **593 MPa** i seguim trobant-lo en l'extrem d'un dels pilars.



Imatge 28. Segons resultats de tensió i flexió amb l'acció del vent.

Desplaçament de l'estructura

Pel que fa als desplaçaments, observem que segueix movent-se en accés, **218mm** en el punt màxim. Podem observar també, que el punt d'inflexió segueix sent el mateix. Per tant, haurem de redissenyar tot el conjunt per tal d'evitar que aquest punt pateixi tant.

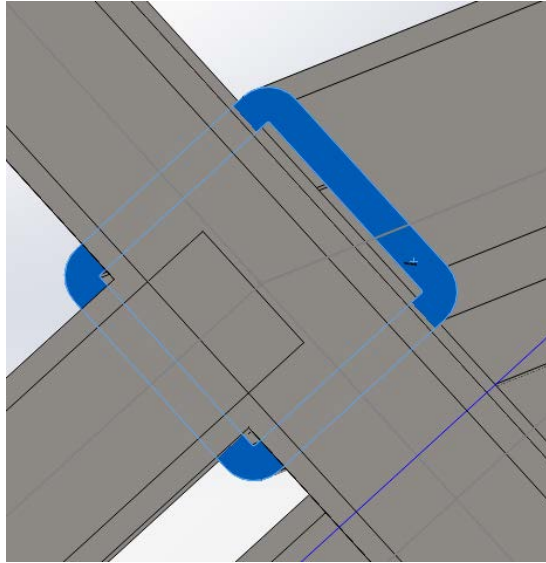


Imatge 29. Segons resultats de desplaçament amb l'acció del vent.

2n Reforç de l'estructura

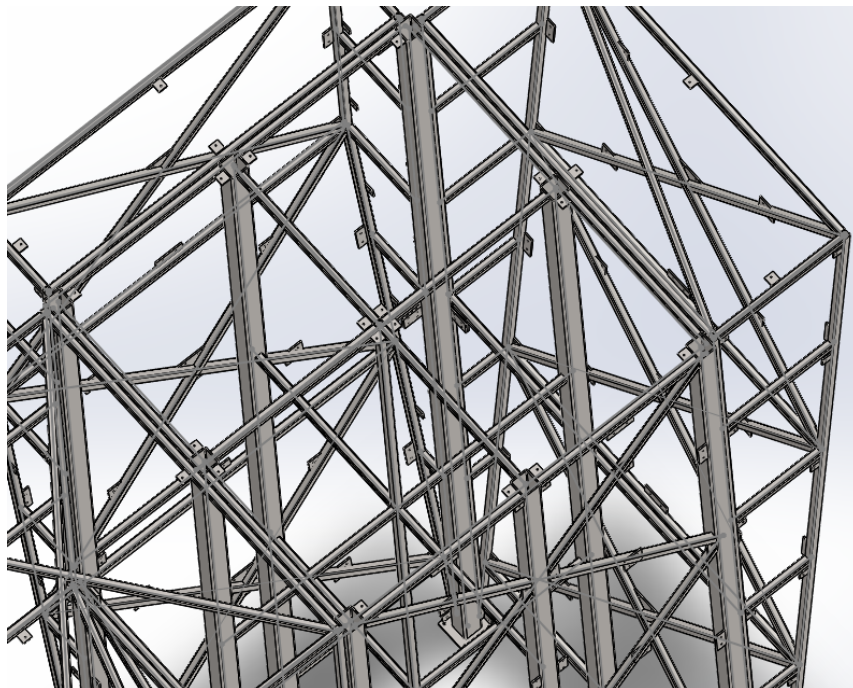
Per tal de convertir tota l'estructura en un conjunt més robust, hem aplicat les següents modificacions:

- S'ha augmentat el perfil de las vuit columnes principals per un perfil més resistent de 160x160x12,5mm.



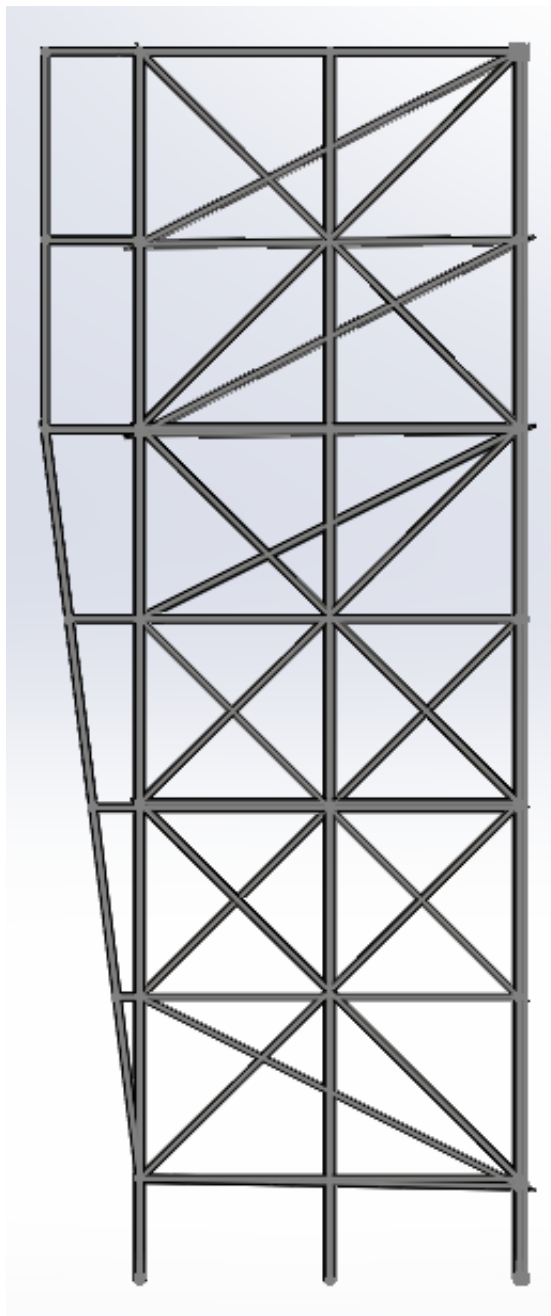
Imatge 30. Pilars reemplaçats amb dimensions 160x160x12,5

- S'ha afegit una estructura interior que reforça les parets laterals.



Imatge 31. Estructura interior reforçada.

- S'han afegit travessers en les parets per tal d'evitar el moviment i d'altre banda per facilitar la subjecció dels elements que s'hi hauran d'incloure posteriorment.

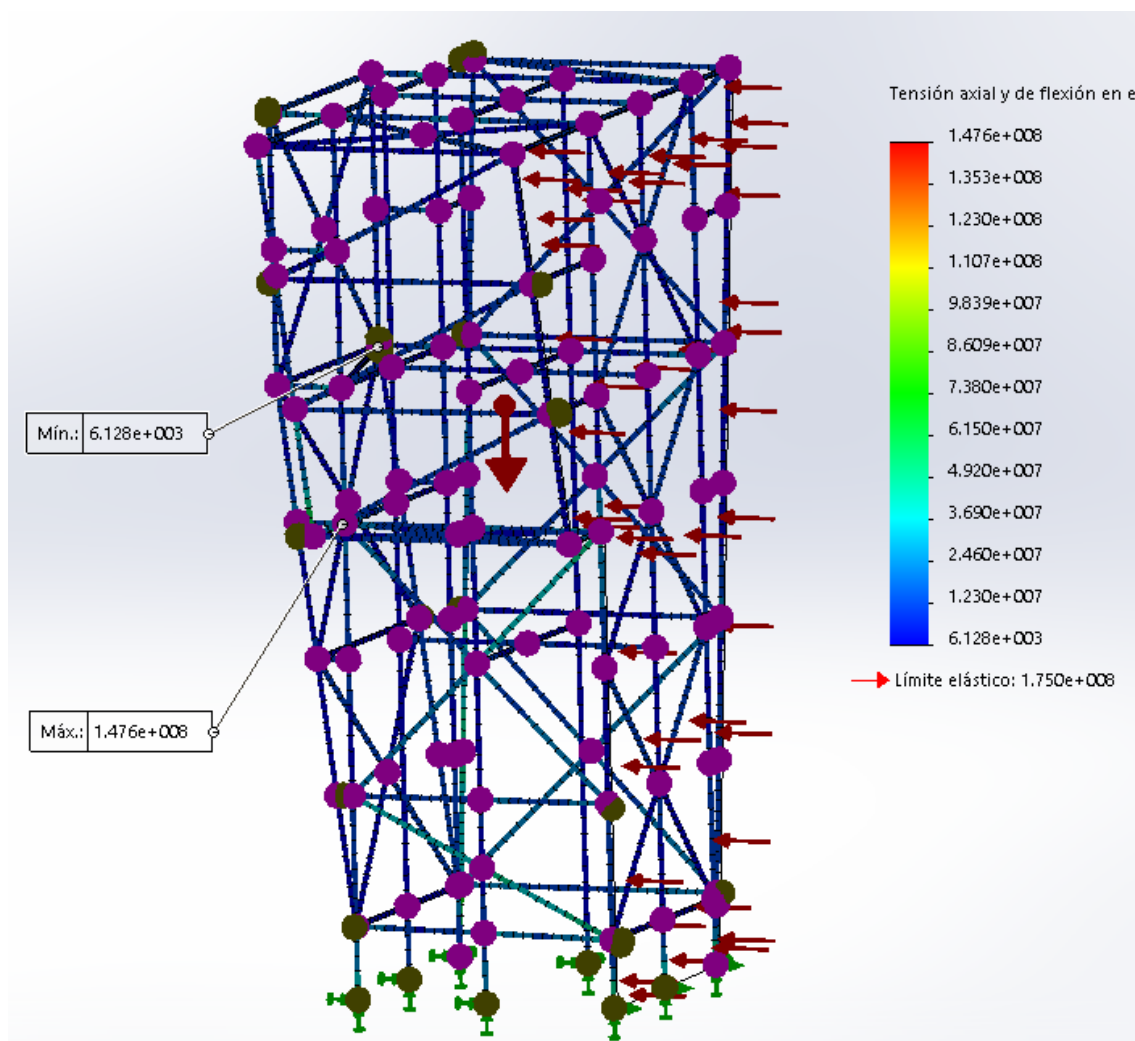


Imatge 32. Nous travessers afegits a les parts externes.

Així doncs un cop tenim l'estructura redissenyada veurem com es comporta davant l'acció del vent davant d'aquestes millores.

3.2.3 3er Càlcul Estructural

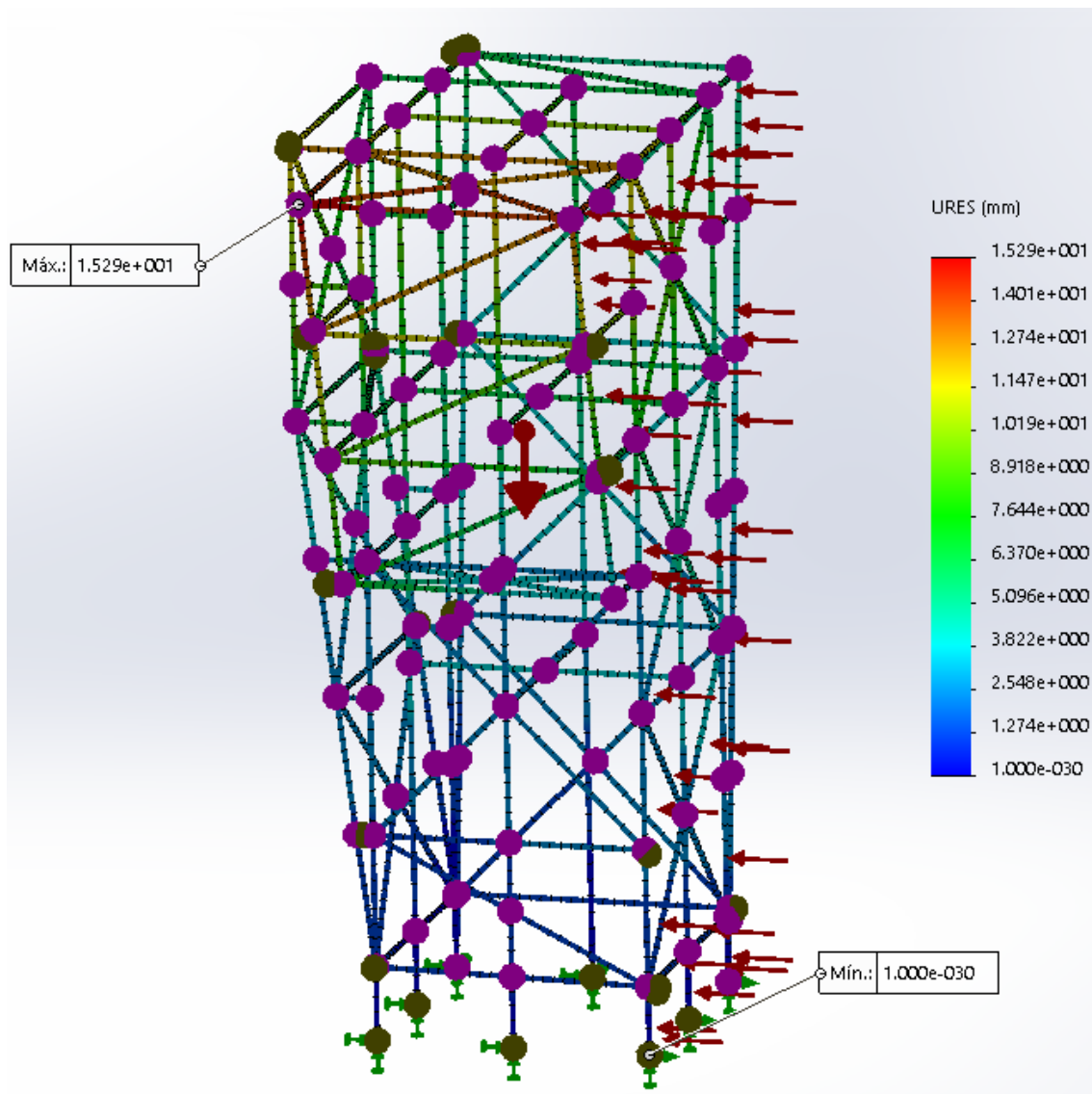
Tensió i flexió



Imatge 33. Resultats finals de tensió i flexió amb l'acció del vent.

Observem que es comporta molt millor i en aquest cas ja no sobrepassa el límit elàstic, sent així de 147,6MPa el punt màxim del material de 175MPa. Tot i que l'estructura aguanta perfectament l'esforç de tensió i flexió, veiem que caldria augmentar el perfil dels vuit pilars centrals.

Desplaçaments



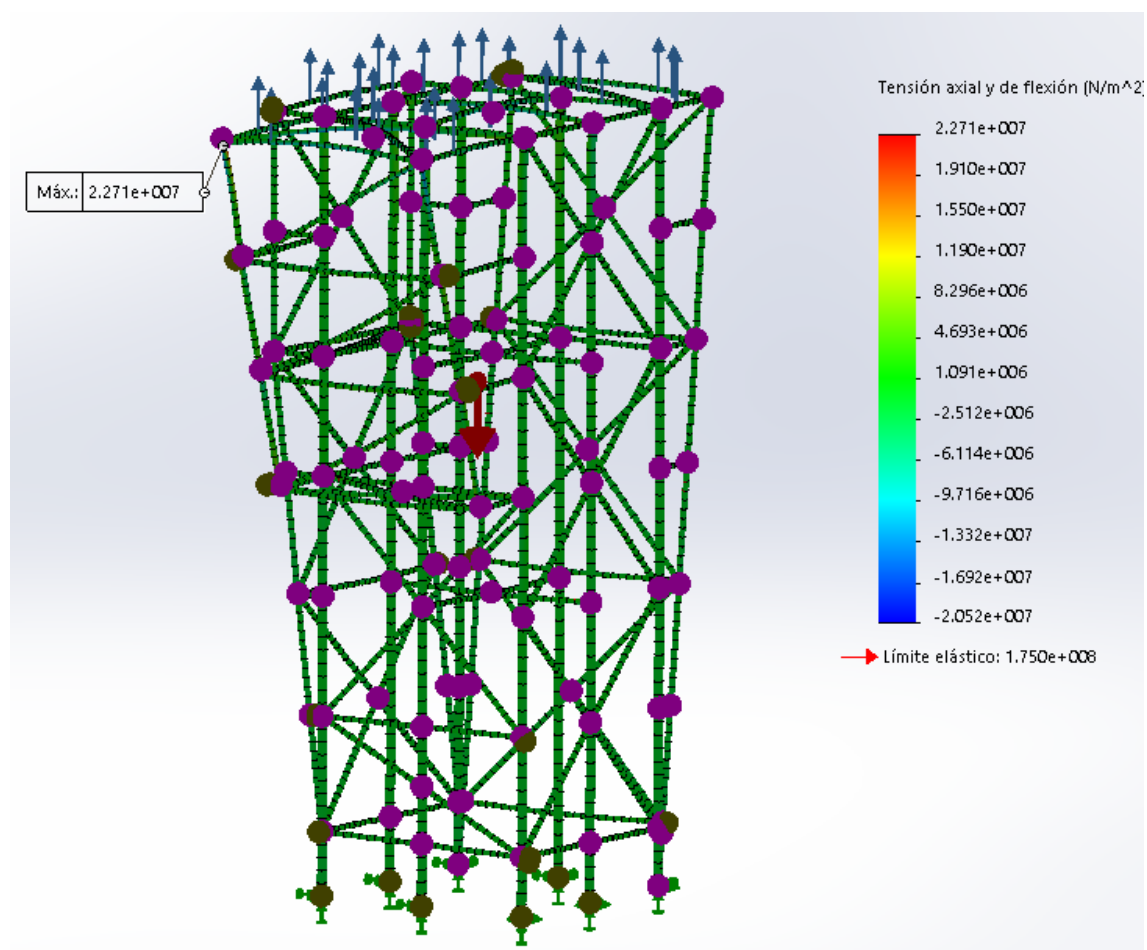
Imatge 34. Resultats finals de desplaçament amb l'acció del vent.

Pel que fa als desplaçaments, observem que ja pràcticament no cedeix la seva posició original, fins a 15mm en el punt màxim.

Un cop tenim el disseny correcte procedirem també a calcular els esforços que experimenta l'estructura de succió. Tot i que ja sabem que es molt difícil, ja que la força de succió del vent és molt més feble que la força en horitzontal, veurem com es comporta.

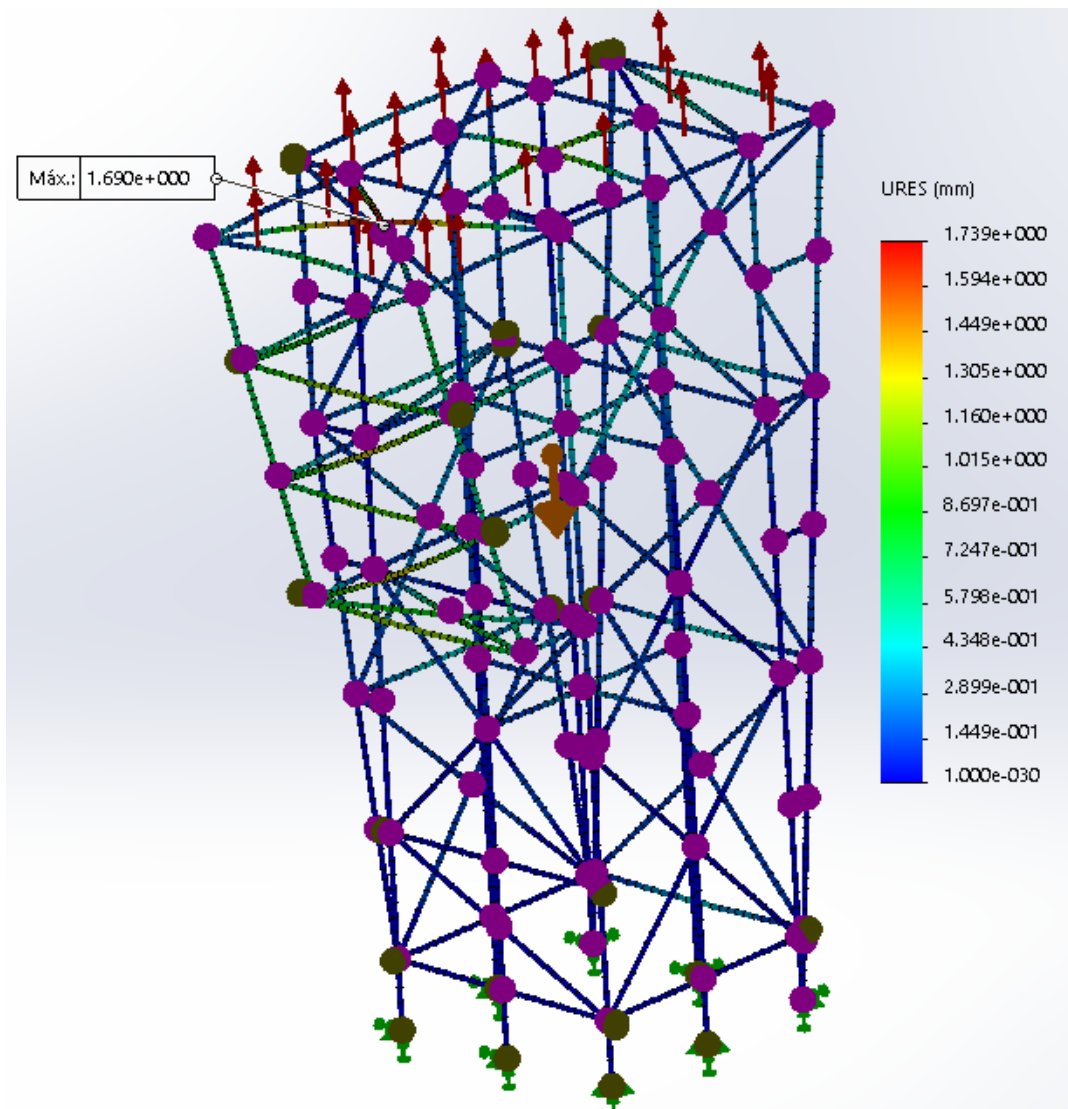
3.2.4 Càlcul Estructural de l'esforç vertical

Tensió axial i flexió



Imatge 35. Resultats finals de tensió i flexió amb l'acció del vent vertical.

Desplaçaments



Imatge 36. Resultats finals de desplaçament amb l'acció del vent vertical.

Un cop dimensionat correctament l'estructura, creiem però que és necessari donar un factor de seguretat, per això en el disseny 3D hem modificat els vuit pilars centrals per uns de més resistents. Doncs sabem que els pilars originals tenen un moment d'inèrcia, **$I_x=2492\text{cm}^4$** . Donarem un factor de seguretat de 2, com a mínim, necessitarem doncs uns pilars amb el doble d'aquest valor.

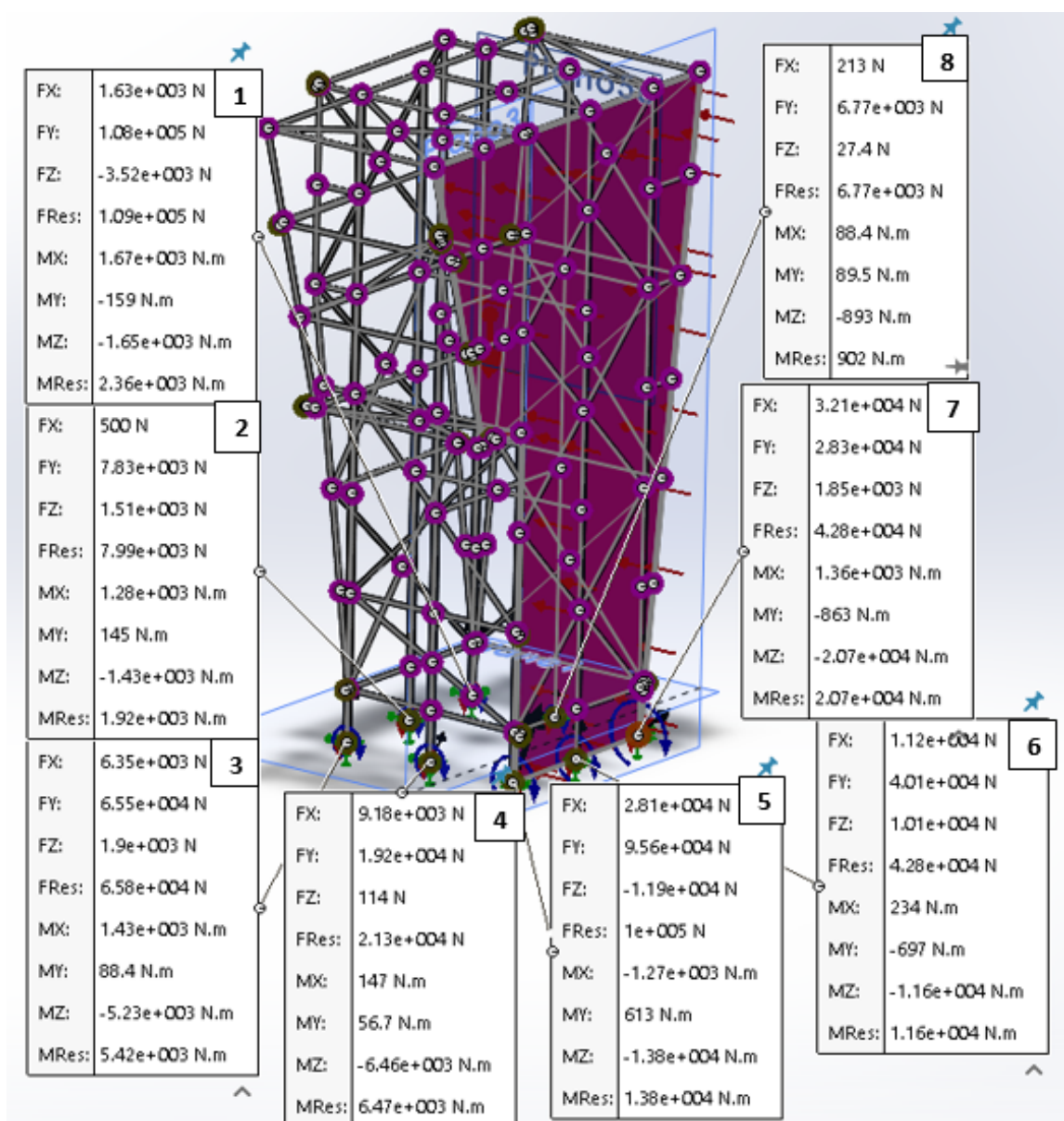
Hem decidit instal·lar-hi uns pilars de 200x200x14,2mm amb un moment d'inèrcia, **$I_x=5261\text{cm}^4$** . D'aquesta manera convertirem l'estructura en un element molt més segur, davant les possibles adversitats climatològiques a les quals podria estar sotmesa l'estructura en dies puntuals.

Com era d'esperar l'estructura no pateix en accés pel que fa als esforços verticals, doncs tractant-se d'una estructura totalment coberta i plana per la part superior no s'observen grans esforços. Obtenim doncs un límit elàstic màxim de 44,9MPa i 2,988mm en la part superior de l'estructura.

3.3 Càlcul de les forces resultants als peus dels pilars

Nº Junta	Mx [N·m]	My [N·m]	Mz [N·m]	MRes [N·m]
1	1670	-159	-1650	2360
2	1280	145	-1430	1920
3	1430	88,4	-5230	5420
4	147	56,7	-6460	6470
5	-1270	613	-13800	13800
6	234	-697	-11600	11600
7	1360	-963	-20700	20700
8	88,4	89,5	-893	902

Taula 8. Moments flectors resultants en els pilars.



Imatge 37. Forces resultants en els pilars.

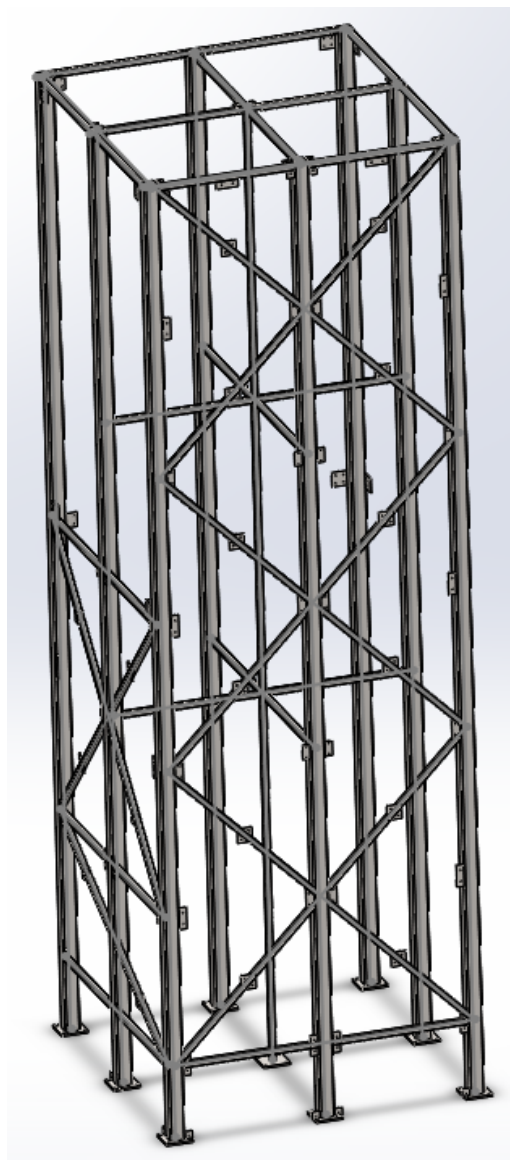


3.4 Pes de l'estructura

Estructura principal

$m = 9835,55 \text{ Kg.}$

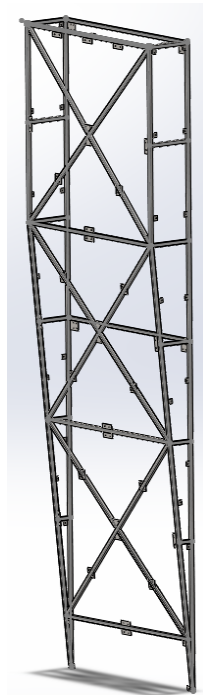
Superfície panells = 96m^2



Imatge 38. Disseny 3D de l'estructura principal.

Mòdul nº 1 $m = 1148,75 \text{ Kg.}$ Superfície Panells = $73,5 \text{ m}^2$ 

Imatge 39. Disseny 3D del mòdul nº 1.

Mòdul nº 2 $m = 1808,6 \text{ Kg.}$ Superfície Panells = 73 m^2 

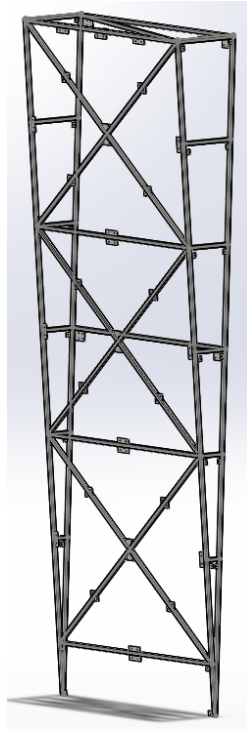
Imatge 40. Disseny 3D del mòdul nº 2.



Mòdul nº 3

$m = 1555,86\text{Kg}$.

Superfície Panells = $80,94\text{m}^2$



Imatge 41. Disseny 3D del mòdul nº 3.

Així doncs sabent que els Panells Relief tenen un pes de **15Kg/m^2** , que el pes mig de les preses d'escalada és de 150gr/presa i cada panell va equipat amb 20 rosques, obtenim el pes de les preses/ m^2 .

Pes preses mig = **$0,75\text{Kg/m}^2$**

Components	Pes Est. [Kg]	S. Panells [m^2]	Pes Preses [Kg]	Total [Kg]
Estructura principal	9835,55	96	240	11515,55
Mòdul 1	1148,75	73,5	90	2341,25
Mòdul 2	1808,6	73	156,132	3059,732
Mòdul 3	1555,86	80,94	166,32	2936,28
Total	14348,76	323,44	652,452	19852,81

Taula 8. Característiques tècniques dels elements estructurals.

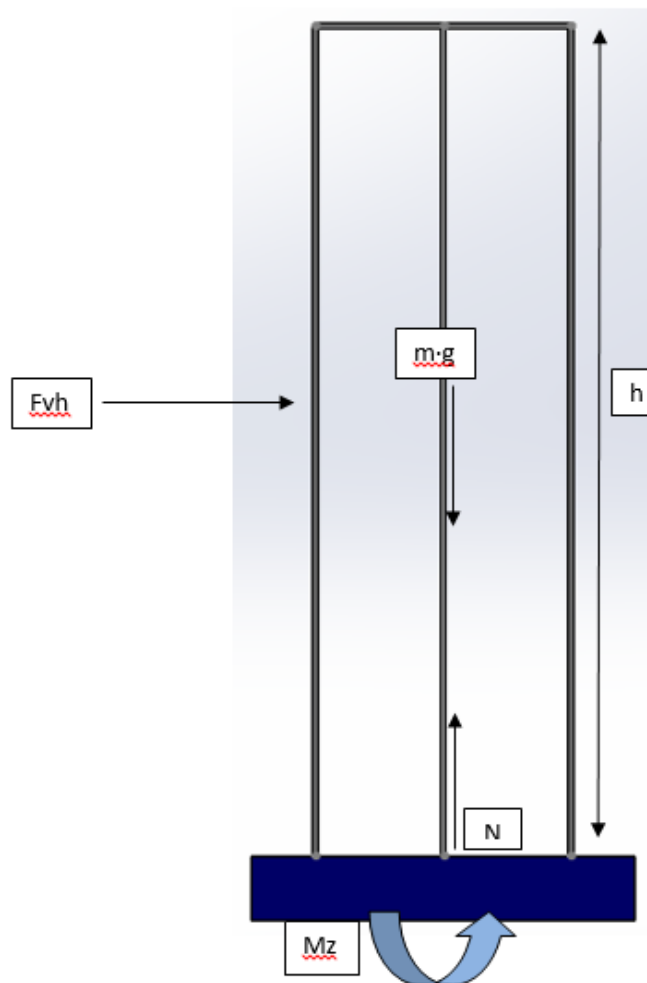
Tenint en compte l'equipament extern que va inclòs en l'estructura, com podrien ser cargols, ancoratges, reunions i d'altres components que no hem valorat en el càlcul del pes, ja que es tracta d'un valor aproximat, considerarem en els càlculs que el pes total de l'estructura és de **20.000Kg**.

3.5 Estudi fonaments

Per calcular la llosa de formigó que necessitarem per subjectar l'estructura, sabem que aquesta depèn de dues condicions:

- La tensió del terreny.
- El moment flector de l'estructura.

Calcularem l'estàtica de l'estructura, tenint en compte la força del vent i el pes de total del rocòdrom, per tal d'obtenir el moment flector que experimenta la llosa de formigó aquí dibuixada de color blau.



Imatge 42. Estudi estàtic del conjunt.



On:

- h = Altura de l'estructura.
- F_{vh} = Força horitzontal del vent .
- N = Normal.
- $m \cdot g$ = La força de la gravetat.
- M_z = Moment flector que experimenta la llosa de formigó.

Sabem doncs que:

- $h = 13m$
- $F_{vh} = 149,39KN$

Apliquem els càlculs de l'estàtica i obtenim que:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = N - m \cdot g = 0$$

$$N = m \cdot g = 20.000 \cdot 9,81 = \mathbf{196200N}$$

I sabem que:

$$M_z = \mathbf{971KN \cdot m}$$

D'altre banda, sabem que la tensió del terreny ha de ser més petita que $2,5kg/cm^2$, sinó el terra s'enfonsaria.

Per tant, trobarem la tensió que hi ha sobre el terreny amb la següent formula:

$$\sigma_{ten} \leq 2.5 \frac{kg}{cm^2} = 25N/cm^2$$

$$\sigma_{ten} = \frac{(N + P) \cdot \sigma_m}{a \cdot b} \pm \frac{6 \cdot M_f}{a^2 \cdot b}$$

On sabem que:

- N : Força normal de l'estructura.
- M_f : Moment flector.
- P : Pes del formigó.
- σ_m : Coeficient de majoració d'accions.

Aquest coeficient el traiem de la següent taula de la norma bàsica de l'edificació (NBE). Segons el tipus d'acció, en aquest cas variable, i del nivell de control d'execució normal, trobem el coeficient.

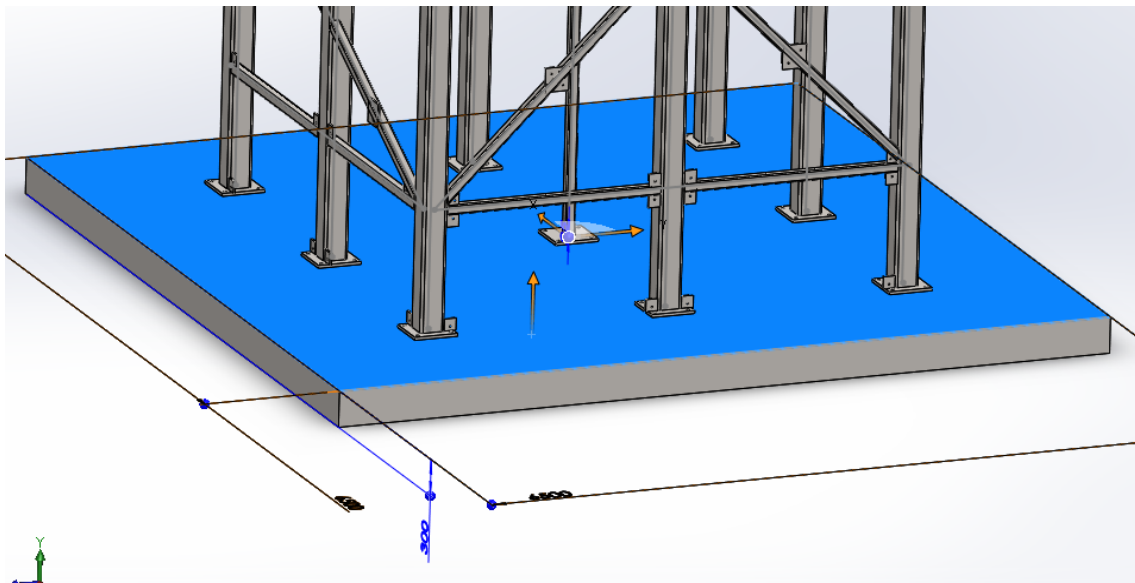
TIPUS D'ACCIÓ	Nivell de control d'execució		
	Intens	Normal	Reduït
Permanent	γ_G 1,35	γ_G 1,50	γ_G 1,60
Pretensat	γ_P 1,00	γ_P 1,00	γ_P -
Permanent de valor no constant	γ_{G^*} 1,50	γ_{G^*} 1,60	γ_{G^*} 1,80
Variable	γ_Q 1,50	γ_Q 1,60	γ_Q 1,80

Taula9. Coeficients de majoració del formigó armat per l'Estat Limit Últim

En el nostre cas, $\sigma_m = 1,6$.

Ens farà falta saber el pes del formigó per poder saber si la llosa de formigó serà suficient per aguantar l'estructura.

Considerarem que la llosa farà 30cm d'alçada i 6,5 metres laterals, ja que deixarem un espai addicional en els extrems per tal d'allotjar correctament les platines que aniran soldades en els extrems dels pilars. Així doncs obtenim la següent llosa de formigó, de 6500x6500x30mm. Comprovarem doncs que les dimensions de la llosa són suficients per suportar l'estructura.



Imatge 43. Disseny 3D de la llosa de formigó.

El Pes del formigó que necessitem per muntar la llosa és el següent:

a [cm]	650
b [cm]	650
c [cm]	30
Volum [cm³]	12675000

Gravetat [m/s²]	9,81
Densitat [Kg/m³]	2400
Volum [m³]	12,675
P [N]	298420,2

Taula 10. Càlcul del volum i el pes del pilar de formigó

Un cop tenim tots els valors substituïm els valors en l'equació d'abans i obtenim:

$$\sigma_{ten} = \frac{(196200N + 298420,2) \cdot 1,6}{650cm \cdot 650cm} \pm \frac{6 \cdot 97100000N \cdot cm}{650^2cm \cdot 650cm}$$

$$\sigma_{ten} = 1,87 \pm 2,12N/cm^2$$

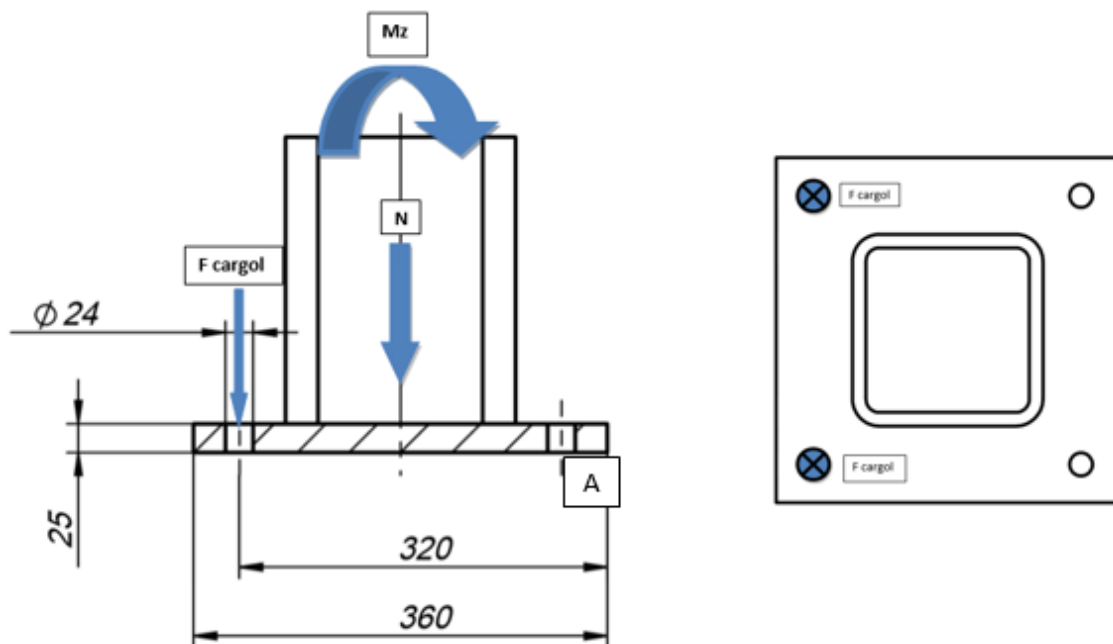
$$\sigma_{ten} \leq 25N/cm^2$$

El valor de la tensió que provocarà el pilar sobre el terreny és més petit que $25N/cm^2$. De manera que no hi haurà cap problema d'enfonsament del terreny.

3.6 Càlcul dels espàrrecs de subjecció de l'estructura.

Mitjançant l'estàtica calcularem les dimensions que hauran de tenir els espàrrecs de subjecció, que aniran adherits a la llosa de formigó per subjectar l'estructura.

Així doncs ho calcularem per un dels pilars:



Imatge 43. Estudi estàtic del esforç dels espàrrecs de subjecció.



On N serà el pes de l'estructura dividit pel numero de pilars, per dimensionar-ho correctament no tindrem en compte el pilar central ja que el pes de l'estructura es troba sobretot en els pilars dels extrems. Obtenint així que:

$$N = \frac{m}{n^{\circ} \text{ pilars}} \cdot g = \frac{20000}{8} \cdot 9,81 = 24525 \approx \mathbf{25KN}$$

F cargol, és la força que haurà d'aguantar l'espàrrec.

M_z , és el moment màxim al qual estarà sotmès el pilar, en aquest cas tal i com hem vist en les taules dels esforços, $M_z = 20700 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Així doncs aplicant l'estàtica obtenim que:

$$\sum MA = 0$$

$$M_z = F \cdot 0,32$$

$$F = \frac{20700}{0,32} = 64687,5N$$

$$F_{\text{cargol}} = \frac{F}{2 \text{ cargols}} = \frac{64687,5}{2} = \mathbf{32343,75N}$$

Calcularem doncs si els espàrrecs de M22 que volíem instal·lar a la llosa de formigó ens seran suficients per aguantar l'estructura. Utilitzarem les següents expressions:

Sabem que: $r = 11\text{mm}$ i $\tau = 640\text{MPa}$

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 11^2 = 379,94\text{mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\text{max}}}{S} = \frac{F_{\text{max}}}{379,94} = 640\text{MPa}$$

Aïllem i obtenim:

$$F_{\text{max}} = \mathbf{243161,6N}$$

$$F_{\text{max}} > F_{\text{cargol}}$$

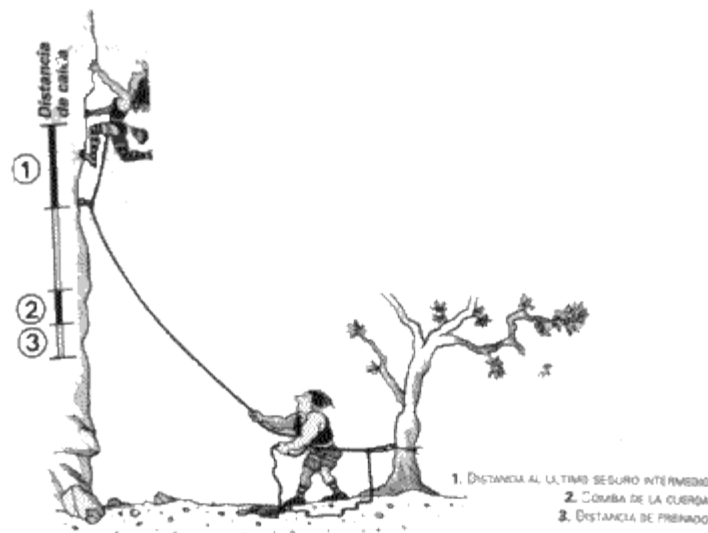
La força màxima que podrà aguantar un cargol de M22 és de 243161,6 Newtons, així doncs amb uns cargols de M22 serà suficient per subjectar l'estructura, obtenint un bon coeficient de seguretat.

3.7 Estudi dels cargols de subjecció dels elements de seguretat

Per tal de dimensionar correctament els cargols que subjectaran els elements de seguretat, calcularem els esforços als quals estaran sotmesos, per tal de dimensionar-los amb un factor de seguretat adient.

Doncs quan un escalador durant l'ascens cau, és l'últim ancoratge al qual s'ha lligat el que el subjecte. En aquest rocòdrom tenim una distància màxima entre ancoratges de 2 metres aproximadament. Això vol dir que l'escalador per l'efecte pèndol pot arribar a caure uns 4 metres més el sobrant de corda que tingui en aquell moment.

En aquest estudi no hem considerat l'elasticitat de la corda que també amortitza la caiguda del escalador.



Imatge 44. Estudi de la distància de caiguda de l'escalador.

Esforç a tracció

Per calcular l'esforç a tracció al qual estan sotmesos els cargols que subjecten els ancoratges i la reunió de les vies hem considerant unes condicions òptimes sense tenir en compte l'elasticitat de la corda ni altres elements externs que puguin influir en el càlcul d'aquest esforç.

Per calcular aquest esforç tenim l'expressió:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$



On:

σ = Resistència mecànica dels cargols.

F = Força de tracció.

S = Secció del cargol.

Així doncs sabem que σ és igual a 640 MPa per un cargol de duresa 8.8.

La força la obtenim de la següent expressió:

$$F = f_s \cdot g \cdot m$$

On f_s és el factor de seguretat que en aquest cas considerem que $f_s = 2$ i considerem també una massa màxima del escalador de 100 kg.

Obtenim que:

$$F = 2 \cdot 9,81 \cdot 100 = \mathbf{1962\ N}$$

Substituïm a l'equació:

$$640\text{Mpa} = \frac{1962}{S}$$

Aïllem S en l'expressió:

$$S = 3,065625$$

$$S = \pi \cdot r^2$$

Substituïm,

$$r = \sqrt{\frac{3,065625}{\pi}} = \mathbf{0,99\text{mm}}$$

Esforç de cisallament

Partint de l'expressió del càlcul anterior i sabent que:

$$\sigma_{\text{cisallament}} = 0,7 \cdot \sigma_{\text{tracció}}$$

Obtenim que:

$$0,7 \cdot \sigma_t = \frac{F}{S}$$

$$0,7 \cdot 640 = \frac{1920}{S}$$

$$S = \frac{1920}{0,7 \cdot 640} = 4,285714$$

$$S = \pi \cdot r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{4,285714}{\pi}} = 1,17mm$$

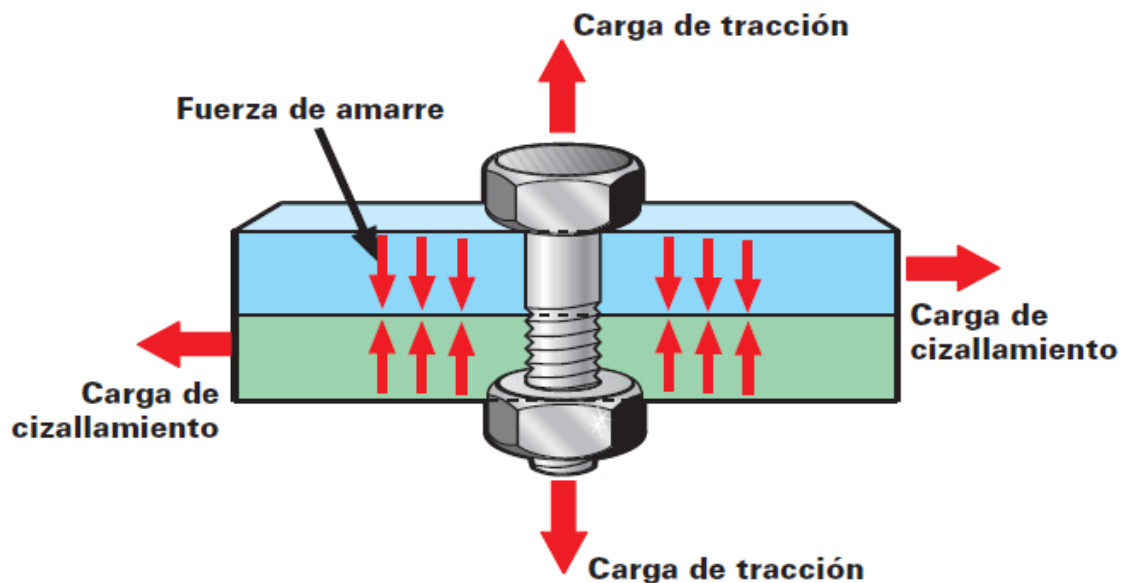
Necessariem doncs un cargol de mètric tres per aguantar perfectament tant l'esforç de tracció com el de cisallament.

Considerem però que tractant-se d'un element de seguretat i tenint en compte a la fatiga del cargol, és convenient sobre dimensionar aquest, per tal d'assegurar la seguretat dels escaladors i escaladores que puguin patir caigudes.

Així doncs amb un factor de seguretat 5 vegades els valors obtinguts i obtenim que:

$$r = f_s \cdot r_{max} = 5 \cdot 1,17 = 5,85 \approx 6mm$$

Per tant necessitem un cargol de M12-8.8 per subjectar els ancoratges de les vies ja que els de mètric deu ens seran justos.



Imatge 45. Esquema dels esforços de tracció i cisallament.

3.8 Estudi dels cargols de subjecció dels mòduls

Per calcular els cargols que utilitzarem per subjectar els mòduls que van adherits a l'estructura principal, farem servir les mateixes expressions que en l'apartat anterior.



Per realitzar aquest càlcul, com que tots els cargols que farem servir seran els mateixos, ho calcularem pel mòdul més pesat, tenint en compte el pes dels panells i tots els elements que hi intervenen.

Tal i com hem vist en apartats anteriors, el mòdul més pesat és el **mòdul 2** amb un pes de 3059,73Kg.

Així doncs aplicant la formula obtenim:

$$F = f_s \cdot g \cdot m$$

$$F = 2 \cdot 9,81 \cdot 3059,73 = 60031,9N$$

Aplicant les equacions de l'esforç de tracció i de cisallament obtenim els següents valors:

- **Esforç a tracció:**

$$\sigma_t = \frac{F}{S}$$

$$640MPa = \frac{60031,9N}{S}$$

$$S = 93,8mm^2$$

$$S = \pi \cdot r^2$$

$$93,8 = \pi \cdot r^2$$

$$r = 5,46 mm$$

- **Esforç de cisallament:**

$$\sigma_c = 0,7 \cdot \sigma_t$$

$$0,7 \cdot \sigma_t = \frac{F}{S}$$

$$0,7 \cdot 640 = \frac{60031,9}{S}$$

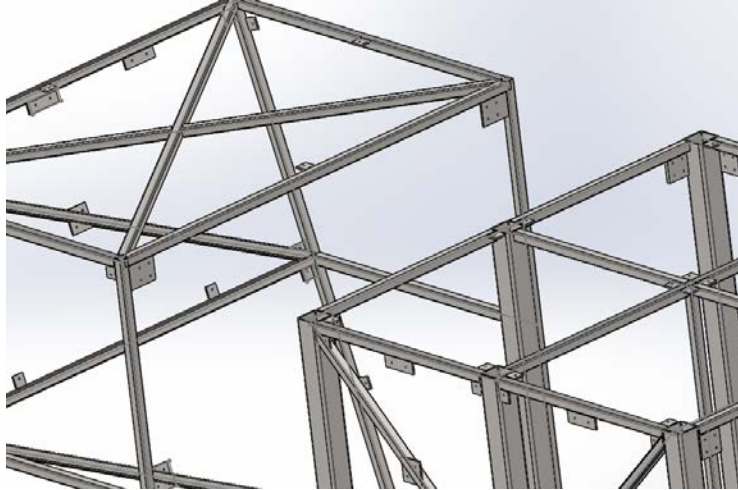
$$S = 144mm^2$$

$$S = \pi \cdot r^2 = 144 = \pi \cdot r^2$$

$$r = 6,77 mm$$

$$Diametre = 6,77 \cdot 2 = 13,54mm \approx \mathbf{14mm}$$

Així doncs tal i com podem observar amb un cargol de M14 seria suficient per aguantar tota l'estructura, ara bé, s'ha de tenir en compte que hi haguí un bon coeficient de seguretat, ja que el despreniment d'un d'aquests mòduls podria causar un accident fatal, subjectarem els mòduls a través de 4 platines soldades amb 4 cargols de M12 en cada una de elles. Tal i com podem veure en la següent imatge:



Imatge 46. Imatge platines de subjecció dels mòduls amb l'estructura principal.

Així doncs si subjectem el mòdul amb 16 cargols obtenim:

$$F = \frac{F_{total}}{16 \text{ cargols}} = \frac{60031,9}{16} = \mathbf{3752N}$$

Substituint en les equacions anteriors obtenim:

$$\sigma_{tracció} = \frac{F}{S} = 640 = \frac{3752}{\pi \cdot r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{3752}{640 \cdot \pi}} = \mathbf{1,37mm}$$

$$\sigma_{cisallament} = \frac{F}{S} = 640 \cdot 0,7 = \frac{3752}{\pi \cdot r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{3752}{640 \cdot 0,7 \cdot \pi}} = \mathbf{1,63mm}$$

Tal i com podem comprovar, els cargols de M12 aguantaran perfectament els mòduls de l'estructura.

CAPÍTOL 4. PRESSUPOST DEL ROCÒDROM

PRESSUPOST ROCÒDROM					
Estructura principal					
Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Acer estructural	S185	9835,35Kg	1,25€/Kg	12.294,18 €
2	Cargol Allen M10x40 Galvanitzat, 8.8	-	150	0,21€/u	31,50 €
3	Cargol Allen M10x60 Galvanitzat, 8.8	-	100	0,23€/u	23,00 €
4	Cargol hexagonal Inox. M12x60mm, 8.8	DIN 931	50	0,97€/u	48,50 €
5	Femella Hexagonal Inox. M12	DIN 934	50	0,29€/u	14,50 €
6	Volandera 3mm Inox. M12	DIN 9021	50	0,60€/u	30,00 €
7	Ancoratges	Fixe-1 Inox	18	1,94€/u	34,92 €
8	Reunió amb mosquetó	Inox	2	28€/u	56,00 €
9	Preses escalada Relief	-	400	0,92€/u	368,00 €
10	Panell Rocòdrom	Relief	96m2	125€/m2	12.000,00 €
11	Mà d'obra tall components	-	3h	15€/h	15,00 €
12	Mà d'obra soldar components	-	9,5h	25€/h	237,50 €
Total					25.153,10 €

Mòdul 1

Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Acer estructural	S185	1148,75Kg	1,25€/Kg	1.435,93 €
2	Cargol Allen M10x40 Galvanitzat, 8.8	-	100	0,21€/u	210,00 €
3	Cargol Allen M10x60 Galvanitzat, 8.8	-	75	0,23€/u	17,25 €
4	Cargol hexagonal Inox. M12x60mm, 8.8	DIN 931	25	0,97€/u	24,25 €
5	Femella Hexagonal Inox. M12	DIN 934	25	0,29€/u	7,25 €
6	Volandera 3mm Inox. M12	DIN 9021	25	0,60€/u	15,00 €
7	Ancoratges	Fixe-1 Inox	4	1,94€/u	7,76 €
8	Reunió amb mosquetó	Inox.	2	28€/u	56,00 €
9	Preses escalada Relief	-	130	0,92€/u	119,60 €
10	Panell Rocòdrom	Relief	73,5m2	125€/m2	9.187,50 €
11	Mà d'obra tall components	-	1,5h	15€/h	24,00 €
12	Mà d'obra soldar components	-	4,5h	25€/h	112,50 €
Total					11.217,04 €



Mòdul 2

Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Acer estructural	S185	1808,6Kg	1,25€/Kg	2.260,75 €
2	Cargol Allen M10x40 Galvanitzat, 8.8	-	125	0,21€/u	26,25 €
3	Cargol Allen M10x60 Galvanitzat, 8.8	-	100	0,23€/u	230,00 €
4	Cargol hexagonal Inox. M12x60mm, 8.8	DIN 931	40	0,97€/u	38,80 €
5	Femella Hexagonal Inox. M12	DIN 934	40	0,29€/u	11,60 €
6	Volandera 3mm Inox. M12	DIN 9021	40	0,60€/u	24,00 €
7	Ancoratges	Fixe-1 Inox	12	1,94€/u	23,28 €
8	Reunió amb mosquetó	Inox.	2	28€/u	56,00 €
9	Preses escalada Relief	-	260	0,92€/u	239,20 €
10	Panell Rocòdrom	Relief	73m2	125€/m2	9.125,00 €
11	Mà d'obra tall components	-	2h	15€/h	30,00 €
12	Mà d'obra soldar components	-	5,5h	25€/h	137,50 €
Total					12.202,38 €

Mòdul 3

Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Acer estructural	S185	1555,86Kg	1,25€/Kg	1.944,82 €
2	Cargol Allen M10x40 Galvanitzat, 8,8	-	125	0,21€/u	26,25 €
3	Cargol Allen M10x60 Galvanitzat, 8,8	-	100	0,23€/u	230,00 €
4	Cargol Hexagonal Inox M12x60mm, 8.8	DIN 931	40	0,97€/u	38,80 €
5	Femella Hexagonal Inox. M12	DIN 934	40	0,29€/u	11,60 €
6	Volandera 3mm Inox. M12	DIN 9021	40	0,60€/u	24,00 €
7	Ancoratges	Fixe-1 Inox	12	1,94€/u	23,28 €
8	Reunió amb mosquetó	Inox.	2	28€/u	56,00 €
9	Preses escalada Relief	-	260	0,92€/u	239,20 €
10	Panell Rocòdrom	Relief	80,94m2	125€/m2	10.117,50 €
11	Mà d'obra tall components	-	2h	15€/h	30,00 €
12	Mà d'obra soldar components	-	6h	25€/h	150,00 €
Total					12.891,45 €

Cimentació

Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Formigó	HM-25	12,675m3	74,87€/m3	948,98 €
2	Mà d'obra operaris	-	1h	37,55€/h	37,55 €
3	Barres acer UNE-EN10080B	-	86,7	0,62€/u	53,75 €
4	Espàrrecs M22 Acer	-	36	0,85€/u	30,60 €
Total					1.070,88 €

Transport

Nº	Denominació	Tipus	Quantitat	Preu	Total
1	Camió	-	2	480€/camió	960,00 €
2	Distància aproximada	-	100km	0,96€/km	96,00 €
Total					1.056,00 €

Preu Total Rocòdrom	63.590,85 €
----------------------------	--------------------

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

Durant el desenvolupament d'aquest projecte s'ha calculat i dissenyat l'estructura d'un rocòdrom. Per dur a terme aquest projecte, s'han hagut de fer tots els càlculs i aproximacions necessaris per arribar al resultat obtingut.

Per una banda, crec que el resultat obtingut ha sigut satisfactori, ja que finalment després de modificar varies vegades l'estructura inicial i experimentar amb el Simulador del *Soliworks*, s'ha assolit l'objectiu principal del projecte, hem dissenyat una estructura equipada amb tots els elements necessaris per poder-hi instal·lar tots els elements del rocòdrom.

Primerament es va dissenyar una estructura molt feble, on vam observar en quins punts l'estructura patia més i finalment, vàrem veure que el problema no només el teníem en el disseny, sinó que també el teníem amb les dimensions de les bigues. Vam haver d'iterar varies vegades amb diferents perfils de bigues fins que vàrem arribar al resultat obtingut.

D'altre banda, es va haver de pensar en tots els elements que l'estructura incorporaria i com aniria muntada, doncs inicialment vam dissenyar l'estructura sense pensar en tots els elements que un rocòdrom ha d'incorporar. També vam haver de seccionar el conjunt en diferents mòduls, per poder transportar-ho fins al lloc de l'emplaçament i veure com subjectaríem aquests mòduls, en conseqüència, també vam haver de dimensionar els elements de subjecció d'aquests.

Finalment, vam pensar en quins elements ens farien falta i a quines distàncies havien d'anar muntats per convertir l'estructura en un rocòdrom funcional, ja que el component havia d'incorporar tots els punts de subjecció per incorporar-hi tots els elements de seguretat, els panells i d'altres elements relacionats amb l'escalada.

Crec que ha estat un projecte molt enriquidor, ja que he millorat els meus coneixements de *Solidworks* i d'altre banda com a escalador aficionat que sóc,

tenia ganes d'aprofundir en un projecte d'aquestes característiques, ja que m'ha servit molt per conèixer un tema que fins ara desconeixia i que em semblava interessant.

CAPÍTOL 6. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

- Hermenegildo Rodríguez Galbarro, [Consulta: 9 de Maig del 2016]. Perfiles de acero, [en línia]. <http://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#heb>.
- Hermenegildo Rodríguez Galbarro, [Consulta: 11 de Maig del 2016]. Perfiles de acero, [en línia]. <http://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#huecocuadrado>.
- Foro Cañines y Barrancos, [Consulta: 24 d'Abril del 2016]. Anclajes, [en línia]. <http://www.barranquismo.net/paginas/tecnica/anclajes.htm>.
- Alejandro López Sánchez, [Consulta: 10 de Juny del 2016]. Construcción y gestión de un rocódromo, aspectos legales, [en línia]. <https://derechoymontana.wordpress.com/tag/cen-136/>.
- AEONOR, [Consulta: 15 de Març de 2016]. Norma Española UNE-EN 12572, [en línia]. http://citywiki.ugr.es/wk/images/2/22/UNE-EN_12572%3D1999.pdf.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. [Consulta: 18 de Març del 2016]. Normalización en instalaciones y equipamientos deportivos, [en línia]. <http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/inst-dep/otras-esp-tecnicas/normalizacion-en-inst-y-equip-dep.pdf>.
- La Haute Société, [Consulta: 26 de Març del 2016]. PETZL, [en línia]. <https://www.petzl.com/>.
- Relief, [Consulta: 15 de Maig del 2016]. Paneles Relief, [en línia]. <http://relief.es/paneles-relief>.
- Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada, [consulta: 4 de Juliol del 2016]. Informació general, [en línia]. <http://www.fedme.es/>.
- Tarragó Rocodromos, [Consulta: 14 d'Abril del 2016]. Informació general, [en línia]. <http://www.tarrago-rocodromos.es/>.
- Cype Ingenieros, S.A. [Consulta: 25 de Setembre]. El generador de precios, [en línia]. <http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/>.

- Código Técnico de la Edificación, [Consulta: 5 de Juny del 2016]. Documento Básico SE-AE , [en línia].
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>.
- Eric J. Hörst.,(2007), *Aprende a escalar en Rocódromo*. Madrid, España, Ediciones Desnivel.
- José Manuel Palacios y Esther Bullido.,(2009), *Móntatelo en casa. Rocódromos personales*. Madrid, España, Ediciones Desnivel.